S. G. BOGDANOV

STUDIUL METALELOR ȘI TRATAMENTUL TERMIC AL OȚELULUI

TRADUCERE DIN LIMBA RUSĂ

EDITURA TEHNICĂ

782.

S. G. BOGDANOV

STUDIUL METALELOR
ŞI
TRATAMENTUL TERMIC
AL
OŢELULUI

TRADUCERE DIN LIMBA RUSĂ

EDITURA TEHNICĂ
1952

Această carte este destinată lucrătorilor calificaţi, maiştrilor şi tehnicienilor a căror activitate este legată de atelierele de tratament termic şi de laboratoarele uzinelor.

Ea conţine noţiuni esenţiale de metalografie şi un studiu asupra tratamentului termic al oţelului şi al fontei.

Capitole speciale tratează despre tratamentul termic al oţelurilor rapide şi al oţelurilor de înlocuire, tratamentul termic prin presiune la temperaturi sub 0 grade, aliajele antifricţiune, metalele neferoase şi mijloacele de protecţie a metalelor împotriva coroziunii.

TITLUL ORIGINAL

С. Г. БОГДАНОВ

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ
И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

BOGDANOV S. G.: **Studiul metalelor şi tratamentul termic al oţelului**; Ed. I, Bucureşti, Editura Tehnică 1952; 232 pag + 124 fig.; ft 152 x 215 mm, lei 11.20 Tip. Centrul Poligrafic 2, filiala 4 — Sibiu; dat în lucru 5 XII. 1951, bun de tipar 28 II. 1952, hârtie cărţi şcolare 65 g/m² 610 x 860/16. Tiraj 2000 + 100; coli de tipar 14,50, coli de editură 17,50; comanda 1138.

Pentru bibliotecile mici indicele de clasificare zecimală este 669.

PREFAȚĂ

Ridicarea calității și cantității producției cum și reducerea prețului de cost sunt condiționate, în mare măsură, de gradul în care muncitorii și personalul tehnic, și-au însușit metode înaintate de lucru.

In lupta pentru reducerea prețului de cost și pentru ridicarea calității produselor în domeniul prelucrării metalelor, muncitorii dela atelierele de tratamente termice ocupă un loc de frunte.

Intradevăr, piesele care au fost supuse la o completă prelucrare mecanică și care au necesitat un consum mare de manoperă dacă nu sunt bine prelucrate în atelierele de tratamente termice, vor fi rebutate, sau vor fi montate la mașini care vor fi scoase din funcțiune prea devreme. Dacă s'ar calcula costul rebuturilor provenite dintr'un tratament termic greșit al pieselor și valoarea reparațiilor mașinilor scoase din uz din cauza acestor piese, s'ar ajunge la cifre uimitoare.

Prelucrarea termică, efectuată după ultima expresie a tehnicii, permite diminuarea pierderii metalelor prin ardere, reducerea timpului de oprire al mașinilor din cauza defectării diferitelor piese, reducerea uzurii și mărirea duratei lor de funcționare.

Introducerea noilor oțeluri rapide de înlocuire în industrie, cu utilizarea metodelor de aplicarea acestor oțeluri, prin sudură pe muchiile de tăiere ale sculelor, cum și întrebuințarea nitrurării sculelor finisate, permit să se realizeze o considerabilă economisire a metalelor prea costisitoare.

Utilizarea călirii superficiale a pieselor dă posibilitatea de a li se îmbunătăți calitatea, de a se reduce rebutul și a se micșora consumul de energie pentru încălzirea lor. Folosirea mai largă în industrie a nitrocementării prin gaze va permite să se reducă din ce în ce mai mult procesul nitrurării, care nu poate fi aplicat în industrie în mod curent, din cauza duratei lui prea mari. Utilizarea încălzirii metalelor în atmosferă neutră capătă o importanță tot mai mare, deoarece prin această operație se poate obține o producție de calitate superioară (evitarea decarburării) și preveni pierderile metalului prin ardere.

Pentru a valorifica avantajul utilizării atmosferei neutre a cuptoarelor, este suficient să menționăm că aproape 5% din toată producția metalurgică se transformă în arsură (țunder) din cauza încălzirilor repetate.

Incălzirea într'un mediu desoxidat permite a se reduce, și în unele cazuri, chiar a se evita complet toleranțele pentru prelucrarea pieselor pe mașini, întrucât absența arsurii dă posibilitatea ca piesele să fie prelucrate la cald cu respectarea destul de exactă a dimensiunilor. Micșorarea și eliminarea adausului pentru prelucrare scurtează ciclul de fabricație al pieselor din fiecare atelier.

Având în vedere importanța mare a tratamentului termic, este necesar să se acorde o atenție mai mare atelierelor de tratament termic și laboratoarelor de uzine și să se desvolte cât mai mult lucrările de cercetări științifice, deoarece cheltuielile care se vor face pentru ele vor fi recuperate în cel mai scurt timp.

La întocmirea acestei cărți s'a ținut seamă de ultimele perfecționări tehnice din domeniul tratamentului termic al oțelurilor, iar expunerea diferitelor fenomene care au loc în oțeluri în timpul încălzirii și răcirii a fost făcută în mod științific și pe înțelesul tuturor.

Datorită volumului limitat al cărții, unele probleme, ca de exemplu: oțelurile aliate, fragilitatea în urma revenirii, nitrurarea și altele, nu sunt pe deplin descrise.

Aduc mulțumiri anticipate tuturor oamenilor muncii din industrie care își vor da părerea asupra acestei cărți.

AUTORUL

INTRODUCEREA ŞI SCURT ISTORIC

Metalele au o deosebită importanţă atât în economia fiecărei ţări, cât şi în viaţa de toate zilele. Nu există aproape nicio ramură a industriei în care metalele să nu-şi găsească o largă utilizare. O cantitate deosebit de mare de metal se consumă în timp de război.

In tehnică şi în viaţa de toate zilele a oamenilor au căpătat o largă utilizare metalele feroase (fierul şi aliajele lui cu carbon, oţelul, fonta), metalele neferoase grele (cuprul şi aliajele lui cu cositor, cu zinc, cu mangan, cu siliciu, etc., cum şi plumbul cu aliajele lui) şi metalele neferoase uşoare (aluminiul, magneziul şi aliajele lor).

Faţă de greutatea lor mică, aliajele aluminiului şi ale magneziului au calităţi şi proprietăţi importante, ceeace face să fie tot mai mult utilizate în industrie. Astfel magneziul poate fi considerat pe drept cuvânt ca un metal de viitor.

Metale ca: aurul, argintul, platina, paladiul, etc., sunt scumpe şi deaceea se utilizează în stare pură numai în cazuri excepţionale. Platina, de exemplu, se întrebuinţează la prepararea cuplurilor termoelectrice şi a creuzetelor de laborator, iar argintul pentru siguranţe, pentru întrerupători speciali, etc. Metalele pure se utilizează foarte rar în industrie, întrucât ele au proprietăţi mecanice inferioare. Excepţie face cuprul, care având o conductibilitate electrică bună, găseşte o largă întrebuinţare în stare pură la fabricarea conductorilor, barelor, contactelor, etc., apoi aluminiul din care se confecţionează diferite vase, plumbul din care se fac plăci de acumulatori sau care se utilizează ca anod în galvanoplastie, etc.

Unele metale ca: nichelul, cromul, cadmiul sunt utilizate pentru acoperirea altor metale, cu scopul de a le proteja împotriva coroziunii şi a le da un aspect mai frumos.

Metalele formează între ele aliaje care sunt larg utilizate în industrie şi în gospodărie.

In tabela 1 se dau denumirile elementelor mai răspândite în tehnică, cu simbolurile lor respective şi cu temperaturile lor de topire.

Tabela 1

Denumirile şi temperaturile de topire ale celor mai răspândite elemente în tehnică

Denumirea elementelor	Simbolul chimic	Temperatura de topire în °C	Denumirea elementelor	Simbolul chimic	Temperaturi de topire în °C
Azot	N	—	Cupru	Cu	1 083
Aluminiu	Al	658	Molibden	Mo	2 620
Bariu	Ba	850	Arsen	As	850
Beriliu	Be	1 285	Nichel	Ni	1 452
Vanadiu	V	1 710	Cositor	Sn	232
Bismut	Bi	268	Platină	Pt	1 773
Hidrogen	H	—	Mercur	Hg	—38
Wolfram	W	3 370	Plumb	Pb	327
Fier	Fe	1 535	Sulf	S	113
Aur	Au	1 063	Argint	Ag	961
Cadmiu	Cd	321	Stibiu	Sb	631
Calciu	Ca	851	Titan	Ti	1 813
Oxigen	O	—	Carbon	C	—
Cobalt	Co	1 490	Fosfor	P	44
Siliciu	Si	1 427	Crom	Cr	1 550
Magneziu	Mg	651	Zinc	Zn	419
Mangan	Mn	1 242			

Unele metale scumpe şi rare (de exemplu niobiul, tantalul) se adaugă la diferite metale, ca aliaje, cu scopul de a se obţine proprietăţi speciale.

In ultimii ani, în tehnică şi în viaţa de toate zilele, metalele au început să fie înlocuite cu materii plastice.

Piesele din materii plastice sunt ieftine, au un aspect frumos şi elegant şi în acelaşi timp, în multe cazuri, au o rezistenţă destul de mare. Ele nu reclamă o prelucrare mecanică, întrucât capătă dimensiuni finite în matriţele de presare. O serie de probleme de bază care tratează despre industria şi prelucrarea metalelor şi aliajelor se datorează lucrărilor savanţilor şi tehnicienilor ruşi. Incă dela începutul desvoltării metalurgiei, tehnicienii, inginerii şi savanţii ruşi au contribuit într'o mare măsură, la desvoltarea procedeelor moderne de prelucrare a metalelor. Acestea au fost condiţionate de evoluţia istorică. In Rusia, elaborarea metalelor a început din timpuri vechi. Cum arată V. V. Danilevschi [1]), Rusia într'o anumită vreme, a ocupat locul întâi în ceeace priveşte extragerea şi prelucrarea metalelor.

---

[1]) V. V. Danilevschi, Tehnica rusă, Lenizdat, 1947.

In timp ce Anglo-Saxonii se serveau de topoare de piatră pentru apărarea statului lor, Ruşii, având arme metalice, au apărat cu succes ţara lor de năvălirea cuceritorilor asiatici.

In secolul al XVIII-lea, industria prelucrării metalelor a fost concentrată aproape exclusiv în Ural; Rusia ocupa primul loc în ceeace priveşte extragerea metalelor.

O dovadă că în acel timp industria metalurgică era mult desvoltată o constitue faptul că atunci au apărut o serie de cărţi de metalurgie. Astfel în 1763 marele savant rus M. V. Lomonosov a scris primul manual rus de industrie minieră: „Bazele metalurgiei şi ale mineritului", în care au fost generalizate experienţe tehnice şi s'au pus bazele ştiinţifice ale proceselor metalurgice.

In 1765—1767, Ivan Şlatter a publicat o lucrare în care sunt descrise mineritul şi metalurgia din acele timpuri.

Unele cercetări ale lui M. V. Lomonosov în domeniul metalurgiei, şi-au găsit aplicarea după 150 de ani dela moartea lui şi nu au pierdut din importanţa lor nici astăzi. El a pus bazele analizei calitative şi cantitative care au o importanţă extrem de mare pentru studierea proceselor metalurgice.

La desvoltarea metalurgiei ruseşti a contribuit foarte mult şi marele savant D. I. Mendeleev. Cercetările metalurgiştilor, fizicienilor şi ale specialiştilor în studiul metalelor au contribuit, în mare măsură, la crearea unei metalurgii ştiinţifice. Renumitul metalurgist rus Pavel Petrovici Anosov din Ural a turnat cantităţi relativ considerabile de oţeluri speciale pentru arme albe. In 1837, el a reuşit să facă săbii cu tăişuri foarte ascuţite, pe ale căror lame se vedeau în mod clar apele (vinele sau patina) caracteristice oţelurilor de Damasc vechi. Oţelul lui Anosov a fost renumit şi cunoscut în toată lumea, exportându-se sub denumirea de oţel din Zlatoust. Săbiile fabricate din acest oţel tăiau oase şi cuie, fără deteriorarea tăişului şi în acelaşi timp, puteau fi îndoite la 90°. Ele tăiau în două o batistă subţire de voal aruncată pe tăiş, în timp ce săbiile englezeşti tăiau numai mătase grea. Pe drept cuvânt se considera că Anosov este iniţiatorul industriei oţelurilor de calitate superioară.

El a studiat apele de pe lamele de săbii, cu microscopul, fiind primul care a utilizat acest procedeu de cercetare a metalelor. Prin lucrările sale, Anosov a contribuit la desvoltarea cunoştinţelor noastre asupra structurii oţelurilor. Lucrările lui „Descrierea procedeului nou pentru călirea oţelurilor în aer condensat" (1827), „Despre prepararea oţelului turnat" (1837) şi „Despre armele albe din oţel de Damasc" (1841), au avut o mare însemnătate în primul stadiu al desvoltării studiilor metalurgice.

Profesorul Dimitrie Constantinovici Cernov a lărgit şi mai mult cunoştinţele noastre în domeniul studiului metalelor şi deaceea este considerat ca fondator al metalurgiei şi metalografiei. Lucrările lui,

publicate în 1868, au revoluţionat toate cunoştinţele asupra metalelor şi au servit drept bază la desvoltarea studiului ştiinţific al metalelor.

Lucrările profesorului Cernov au fost recunoscute în toată lumea. Astfel în anul 1900 la expoziţia mondială dela Paris s'a declarat că toate succesele în desvoltarea turnării oţelurilor se datorează tehnicianului rus Cernov. Renumitul savant francez Portvaine a scris în necrologul făcut la moartea lui D. C. Cernov următoarele:

„O viaţă atât de frumoasă, care a fost apreciată de lumea întreagă, face mare cinste Rusiei". Henry Gou a dedicat lucrarea sa de metalografie, „părintelui metalurgiei, D. C. Cernov", cum s'a exprimat chiar el.

Descoperirile lui D. C. Cernov referitoare la transformările care au loc în masa metalelor în timpul încălzirii (puncte critice) stau la baza metalografiei.

Inginerul minier Obuhov a fost primul care a obţinut în cantităţi mari oţel turnat pentru tunuri, independent de Bessemer şi de Martin. El a fabricat unul din cele mai bune oţeluri din lume. Tunurile fabricate de Obuhov aveau o mare durabilitate. Unul din aceste tunuri care a rezistat la 4 000 de lovituri a fost expus la Expoziţia mondială din Paris.

In anul 1869, inginerul Iznoskov a construit în uzina din Sormovsc primul cuptor rusesc de tip Martin. Savanţii şi tehnicienii ruşi au contribuit mult la fabricarea metalelor neferoase. Prin lucrările lor, Sobolev, Petrov, V. Liubarschi, Musin-Puşchin, Socolov şi alţii, au contribuit la desvoltarea procedeelor industriale pentru extragerea aurului şi a platinei.

In anul 1865, academicianul N. N. Beketov a publicat o lucrare referitoare la metoda sa de obţinere a aluminiului.

Până atunci aluminiul se obţinea prin metode complicate şi costisitoare, ceeace făcea ca preţul lui să fie foarte ridicat. Aluminiul a fost denumit „argint din argilă". Metoda lui Beketov n'a fost apreciată în Rusia, însă uzinele din străinătate şi-au însuşit-o foarte repede. Inginerul rus D. A. Peneacov a îmbunătăţit metoda de obţinere a aluminiului, iar acuma toate uzinele din lume produc aluminiu după metoda descoperită în Rusia.

Teoria electrometalurgiei aluminiului a fost creată de profesorul Politehnicei din Petersburg P. P. Fedotiev (membru corespondent al Academiei de Ştiinţe din U. R. S. S.). Lucrarea lui despre „Cercetările experimentale asupra electrometalurgiei aluminiului" a fost apreciată în toată lumea şi tradusă în multe limbi străine. El a descoperit deasemenea metodele de obţinere a altor metale pe cale electrolitică. Inginerii Semennicov, Alexeev, Ivanov şi alţii au adus perfecţionări valoroase în metalurgia metalelor neferoase. Metoda propusă de Semennicov, pentru obţinerea cuprului a fost aplicată în toată lumea. Cercetătorii ruşii au pus bazele sudurii. Academicianul Vasile Vladimirovici

Petrov încă în anul 1802 a descoperit că între doi electrozi de cărbune se formează un fascicol luminos. Acest fenomen este cunoscut sub numele de arc electric. Inlocuind un electrod de cărbune cu unul metalic, el a descoperit că metalul se topeşte în zona fascicolului luminos. Această descoperire a pus bazele sudurii prin arc electric. In anul 1803 a publicat lucrări în care se arătau posibilităţile de a se produce oxizi şi a se obţine metale pure cu ajutorul electricităţii.

El este astfel fondatorul electrometalurgiei moderne.

Nicolae Nicolaevici Benardos a găsit o utilizare practică pentru arcul care se naşte între doi electrozi, arc descoperit de Petrov. El a inventat o metodă pe care a numit-o „electrohefest" (Hefaistos, în limba greacă, este zeul focului şi protectorul artelor şi meseriilor bazate pe utilizarea focului). Electrohefestul constă în următoarele: piesa de sudat se aşează pe o nicovală metalică pusă în legătură cu unul din polii sursei electrice. Al doilea pol se leagă de electrodul de cărbune, iar în flacăra arcului se introduce o vergea de metal care, în acest fel, se topeşte. Cu ajutorul arcului electric, Benardos a început să sudeze piesele. Această metodă este larg utilizată în toată lumea la sudarea pieselor, la repararea defectelor de turnare, la remedierea pieselor crăpate sau sparte, la tăierea cu arc electric a materialelor, etc.

Perfecţionarea ulterioară a sudurii electrice prin arc a fost făcută de Nicolai Gavrilovici Slavianov, care a înlocuit electrodul de cărbune printr'unul metalic.

Descoperirile lui Petrov, Benardos şi Slavianov au fost uitate după moartea lor şi numai după Revoluţia din Octombrie sudura a ocupat locul ce i se cuvenea în industria U. R. S. S.

Mihail Constantinovici Curaco a început să lucreze ca lucrător manual în secţia de furnale a uzinei din Alexandrovsc. Evidenţiindu-se, el a devenit în scurt timp şef de secţie la uzina din Kramatorsc. El a perfecţionat construcţia furnalelor şi a creat construcţia nouă a gurilor de vânt şi a răcitoarelor.

In desvoltarea ştiinţei metalurgice au adus contribuţii însemnate lucrările următorilor savanţi ruşi: N. S. Curnacov, M. A. Pavlov, A. A. Baicov, V. N. Lipin, V. E. Grum-Grjimailo, V. P. Ijevschi, S. P. Vologdin, I. A. Socolov, I. T. Bardin, N. T. Gudţov, A. A. Bocivari, M. M. Carnauhov, B. V. Starc, I. A. Oding şi mulţi alţii. Unele lucrări ale acestor savanţi au un renume mondial bine meritat. Ei au creat teorii originale şi au descoperit metode noi pentru studiul metalelor. Cercetările lor teoretice sunt efectuate în strânsă colaborare cu industria, ceeace favorizează progresul atât al ştiinţei, cât şi al producţiei.

Academicianul M. A. Pavlov a adus o mare contribuţie în cunoaşterea proceselor care au loc în furnale. Lucrările lui în acest domeniu sunt adoptate de metalurgiştii din toate ţările şi constitue lucrări de bază pentru furnalişti. Profesorul Grum-Grjimailo a elaborat teoria cuptoarelor metalurgice. Profesorul I. A. Socolov, studiind con-

diţiile de înnobilare a minereurilor de fier, a elaborat teoria topirii în furnale. Academicianul N. C. Curnacov a contribuit deasemenea mult la cunoaşterea bazelor fizico-chimice ale metalurgiei fizice şi extractive. Academicianul A. A. Baicov a creat teoria proceselor metalurgice şi a elaborat metode extrem de exacte de analiză chimică. El a efectuat lucrări în legătură cu metodele pentru determinarea punctelor critice ale corpurilor solide şi a contribuit la rezolvarea problemelor teoretice în studiul metalelor.

Academicianul I. T. Bardin face studii asupra problemei utilizării oxigenului suflat sub presiune în cursul operaţiilor metalurgice. Sub conducerea lui se efectuează lucrările de turnarea oţelului în lingouri continui. Printr'o activitate intensă în domeniul proiectării, construirii şi amenajării uzinelor, Baicov, Bardin şi Pavlov au contribit la desvoltarea metalurgiei grele bazate pe cele mai noi cuceriri în ştiinţă. A. L. Baboşin şi S. S. Steinberg au contribuit deasemenea prin lucrările lor la desvoltarea studiului metalelor.

Academicianul N. T. Gudţov se ocupă cu studiul influenţei elementelor rare asupra oţelurilor. Lucrările lui N. T. Gudţov în domeniul oţelurilor aliate, l-au ajutat să scoată în evidenţă explicaţiile teoretice ale unor fenomene foarte complicate, care au loc în timpul solidificării şi tratamentului termic al oţelului. Din punct de vedere al studiului metalelor el aduce un mare ajutor uzinelor din U. R. S. S., Institutelor de Cercetări şi colaboratorilor ştiinţifici. Academicianul A. A. Bocivar a elaborat teoria măririi şi micşorării rezistenţei aliajelor, ceeace a dat posibilitate să se utilizeze în uzine tratamentul termic al aliajelor neferoase. Curdiumov, membru activ al Academiei de Ştiinţe din R. S. S. Ucraineană, studiază problemele teoretice ale călirii oţelurilor. Prin lucrările sale, el contribue la lămurirea unei serii întregi de fenomene complicate care au loc în oţeluri în timpul călirii şi revenirii. J. A. Oding şi S. J. Gulchin, membrii corespondenţi ai Academiei de Ştiinţe din U. R. S. S., au adus contribuţii importante în ştiinţă în ceeace priveşte plasticitatea şi rezistenţa metalelor. Academicianul S. P. Vologdin a elaborat un nou procedeu de încălzire a oţelului cu ajutorul curentului de înaltă frecvenţă. Instalaţiile lui S. P. Vologdin sunt utilizate în largă măsură în uzinele din U. R. S. S. Academicianul V. P. Nichitin a pus bazele fabricării utilajului sovietic pentru sudură electrică. Metoda lui ieftineşte considerabil operaţia de sudare. E. O. Paton, membru al Academiei de Ştiinţe a R. S. S. Ucrainiene, a propus o metodă de mare eficacitate pentru sudarea metalelor sub strat de fondanţi. Instalaţia lui pentru sudură automată se utilizează tot mai mult în industrie. Hrenov, membru activ al Academiei de Ştiinţe a R. S. S. Ucrainiene, a inventat procedee noi de sudare semiautomată sub apă şi de tăiere oxielectrică a metalelor.

Această enumerare a lucrărilor savanţilor ruşi şi sovietici cu renume mondial este departe de a fi completă. Guvernul ţarist n'a

ştiut să consolideze locul întâi pe care l-a deţinut ţara în veacul al XVIII-lea în industria metalelor şi Rusia ţaristă a cedat primul loc altor state.

In anul 1913, în Rusia se produceau 4,2 milioane tone de fontă şi oţel şi 47,8 mii tone de cupru brut şi electrolitic. Cu toate bogăţiile sale naturale, Rusia deţinea al cincilea loc în ceeace priveşte elaborarea oţelului şi a fontei şi al şaptelea loc în ceeace priveşte fabricarea cuprului. In Rusia ţaristă aproape că nu se fabricau oţeluri aliate înafară de câteva uzine, care produceau oţeluri aliate pentru nevoile lor proprii.

In anii Puterii Sovietice, U. R. S. S. a obţinut mari succese în desvoltarea unei puternice industrii metalurgice. Cât de mult a progresat industria în U. R. S. S. se vede din faptul că în 1950 s'au elaborat 19,5 milioane tone de fontă şi 25,4 milioane tone oţel. Probleme grandioase au fost puse în faţa ţării de către Tovarăşul Stalin, care în 1946, la adunarea alegătorilor din circumscripţia Stalin a oraşului Moscova, a arătat că este necesar ca în fiecare an să se producă până la 50 milioane tone de fontă şi până la 60 milioane tone de oţel.

⇒ In 1961 aşa cum arata tov. N.S. Hrusciov la Congresul XXII al PCUS-ului, s'a realizat o productie de fonta de 51,1 milioane tone, iar la oţel o productie de 71 milioane tone

In continuare se va dicta din Tălpăşanu pag. 5 texul cu chenar, după care urmează Capitolul III din textul scris.-

Observaţie

Din istorie se poate scurta ce crezi de cuviinţă.

CAPITOLUL I

BAZELE METALOGRAFIEI

Inainte de a se studia tratamentul termic al oţelului, este necesar să se cunoască măcar pe scurt metalografia, deoarece fără înţelegerea bazelor ei nu se poate vorbi despre un studiu serios al tratamentului termic. Desigur, aici nu se pot pune în lumină toate problemele metalografiei şi ale tratamentului termic, din cauza complexităţii şi variaţiei lor şi din cauza volumului redus al acestei cărţi.

Metalografia este ştiinţa care studiază dependenţa diferitelor proprietăţi ale metalelor şi aliajelor, de structura lor interioară. Intre structura metalelor şi aliajelor (care sunt o combinare de metale sau o combinare de metale cu metaloizi) şi proprietăţile lor mecanice există o dependenţă determinată. Precizarea acestei dependenţe, şi găsirea metodelor tratamentului termic şi prelucrării mecanice, care dau metalului sau aliajului o structură specială, sunt probleme cu care se ocupă metalografia.

In prezent se cunoaşte un mare număr de metale pure, care combinându-se între ele sau cu metaloizii, pot forma foarte multe aliaje. O cantitate mai mică sau mai mare de metale (elemente) sau de metaloide introdusă în aliaj, influenţează simţitor structura lui interioară şi proprietăţile lui.

Felul prelucrării are deasemenea mare influenţă asupra aliajului sau a metalului pur. Tratamentul termic, procedeu care constă în încălzirea până la o anumită temperatură, în menţinerea la acea temperatură, urmată de o răcire ulterioară cu o anumită viteză, schimbă foarte mult structura şi proprietăţile materialului. Prelucrarea mecanică la rece (de exemplu laminarea oţelului moale neîncălzit), schimbă deasemenea în mod sensibil proprietăţile iniţiale ale materialului.

Cu ajutorul metalografiei se poate stabili cu anticipaţie felul în care va trebui să se facă prelucrarea materialului, iar în unele cazuri se poate indica chiar compoziţia chimică necesară pentru obţinerea unor proprietăţi mecanice speciale.

Metalografia a devenit o ştiinţă pe la 1870, când savantul rus D. K. Cernov a descoperit punctele critice. Odată cu apariţia metalografiei s'a putut studia structura interioară a metalelor şi a aliajelor şi s'au putut observa schimbările provenite în ele în urma diferitelor prelucrări.

Pentru a studia un metal la microscop este necesar să se pregătească în mod special o probă. In acest scop, se ia o bucată mică din metalul care trebue cercetat, se şlefueşte pe o parte cu pila sau la polizor şi apoi se curăţă bine cu şmirghel de granulaţii diferite; la început cu şmirghel cu granule mai mari, apoi din ce în ce mai mici până când pe suprafaţa metalului rămân numai sgârieturi mici, după care se polizează pe o şaibă de postav sau de antilopă. In timpul polizării, şaibele trebue să fie unse din abundenţă cu polir (pastă formată din oxid de aluminiu, crocus şi altele).

Polizarea se face până când suprafaţa probei devine lucioasă ca o oglindă fără a avea vreo urmă de sgârieturi. Dacă privim la microscop o suprafaţă pregătită în acest fel, vedem o pată luminoasă, deoarece suprafaţa reflectă toate razele luminii. Proba se spală după aceasta cu alcool şi se corodează cu diferiţi acizi. Pentru oţel se întrebuinţează de cele mai multe ori o soluţie de alcool cu 2...4% acid azotic sau picric (se poate întrebuinţa apă în loc de alcool, dar oţelul va rugini repede). Pentru cupru se întrebuinţează un reactiv cu aceeaşi cantitate de amoniac şi 3% apă oxigenată. Acizii acţionează diferit asupra diverselor componente ale aliajului, una corodându-se mai puţin, altele mai mult. Datorită acţiunii acizilor se poate determina structura interioară a metalelor sau a aliajelor. In acest caz, o parte din razele luminii căzând pe suprafaţa corodată se reflectă, iar altă parte se refractă (fig. 1), ceeace la microscopul metalografic va fi văzut în chip de pete întunecate şi lucioase. Ştiind dela început felul cum acţionează reactivul (acizii) asupra elementelor componente ale aliajului, se poate determina structura lui.

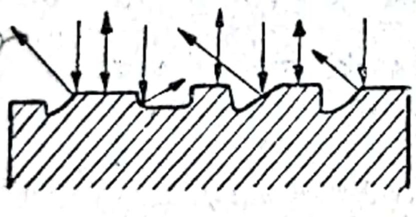


Fig. 1. Reflectarea luminii de pe suprafaţa corodată a probei.

In prezent microscoapele metalografice sunt foarte perfecţionate şi permit să se studieze structura metalelor mărită până la 2500 ori.

Deşi în practică se utilizează aliaje care sunt compuse din mai multe elemente, totuşi până în prezent au fost cercetate amănunţit numai aliajele din două componente (binare).

Aceasta se explică prin faptul că aparatele şi metodele existente nu satisfac condiţiile cerute pentru cercetarea aliajelor cu mai mulţi componenţi. Odată cu desvoltarea metodei roentgenografice, cercetarea metalelor şi a aliajelor a făcut în această direcţie un pas înainte. Având în vedere că în prezent s'a ajuns la utilizarea microscopului electronic care măreşte de 20 000 ori, se poate spera că studierea structurii metalelor va progresa din ce în ce mai mult.

1. Consideraţii generale asupra structurii cristaline a metalelor

Corpurile existente în natură se compun din atomi sau molecule. Atomii sunt părticelele infim de mici ale unui corp simplu, care au toate proprietăţile lui chimice şi care iau parte la toate acţiunile chimice pe care le suferă corpul din care fac parte. Moleculele sunt particule mai mari, compuse din doi sau mai mulţi atomi diferiţi, care formează un alt corp.

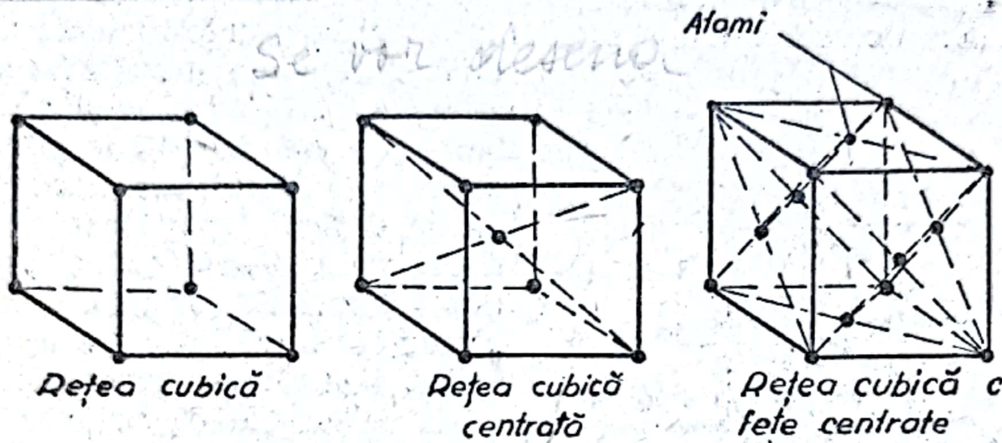


Fig. 2. Tipuri obişnuite de reţele.

Unele corpuri au structură cristalină, altele o au amorfă. Toate metalele sunt corpuri cristaline. Corpul cu structura cristalină are particulele din care este compus (molecule, atomi), dispuse în mod regulat, formând aşa numita reţea cristalină atomică. Metalele au reţeaua cubică centrată sau cubică cu feţe centrate.

In capitolul V, se vor da noţiuni despre reţelele fierului şi oţelului. Reţeaua cristalină se naşte datorită forţelor de atracţie şi respingere care acţionează între atomi. Aceste forţe depind de dispoziţia atomilor şi de distanţa dintre ei. Pentru a distruge reţeaua cristalină trebue să se consume un oarecare efort, care trebue să învingă forţele ce acţionează între atomi.

Atomii, în funcţie de temperatură se aşează în mod special în reţea, ceeace provoacă o schimbare a proprietăţilor metalelor şi aliajelor. O modificare a reţelei este însoţită de absorbirea sau de degajarea unei cantităţi de căldură.

Dacă trecerea corpului din stare lichidă în stare solidă se va face treptat, atunci aşezarea corectă, în spaţiu, a particulelor va fi însoţită de formarea unui corp solid cu o formă exterioară regulată (în formă de cristal).

Corpul cristalin se caracterizează prin anisotropie, care constă în faptul că proprietăţile acelui corp depind de direcţia după care sunt determinate, într'o direcţie ele sunt mai mari, în altă direcţie mai mici; aceste direcţii se supun totodată unor anumite legi. Aşa de exemplu, zincul, care nu se caracterizează prin plasticitate, permite să fie lungit până la 1700% într'o direcţie determinată, la temperatura de 200 °C.

Corpurile amorfe (sticla, ebonitul) se deosebesc de cele cristaline, prin aceea că proprietăţile lor sunt identice în toate direcţiile. Materia care are proprietăţi identice în toate direcţiile se numeşte isotropă.

La răcirea unei mase de metal topit, se nasc în primul rând aşa numitele centre de cristalizare. Din aceste centre, ramuri cristaline cresc cu diferite viteze în trei direcţii care se intersectează sub un unghi de 90°; la sfârşitul răcirii se obţin cristale mari în chip de arbore. Din această cauză aceste centre cristaline au fost numite dendritice. Dendrita are forma unui arbore (fig. 3), având trunchiul de bază *a* şi ramificaţiile perpendiculare şi laterale *b* care se formează în timpul cristalizării, în al doilea rând. Denumirea de „dendrită" derivă din cuvântul grecesc „Dendron" care înseamnă arbore. In fig. 4 este reprezentat faimosul cristal al lui Cernov, pe care l-a descoperit într'un gol de retasură dintr'un lingou de 100 tone din oţel Martin. In acest cristal se vede clar aşezarea uniformă a axelor. Numărul de cristale care se formează în metalul lichid cum şi dimensiunile lor, depind de viteza de formare şi de viteza de creştere a cristalelor.

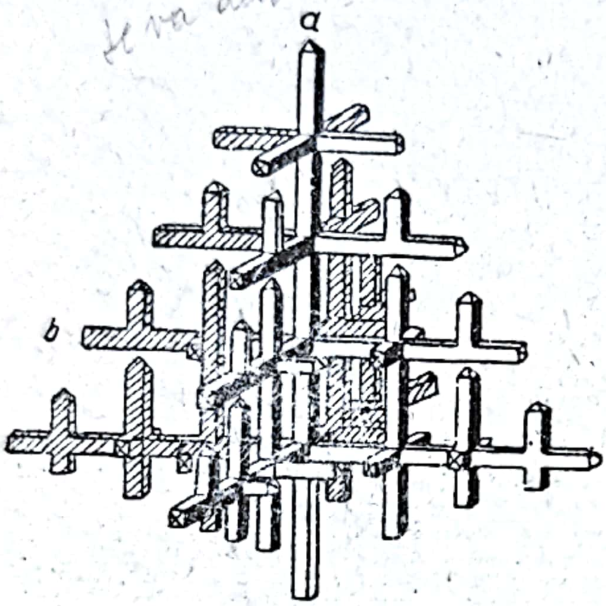


Fig. 3. Reprezentare schematică a cristalelor.

Prin viteza de formare se înţelege numărul centrelor de cristalizare care se formează într'o unitate de timp într'un centimetru cub de metal topit.

In turnătorie prin viteza de creştere a cristalelor (care se exprimă în milimetri pe minut) se înţelege viteza de creştere a moleculelor în jurul centrelor de cristalizare.

Atât viteza de formare a cristalelor, cât şi viteza lor de creştere (viteza de cristalizare) depinde de viteza de răcire. Cu cât viteza de răcire este mai mare, cu atât se formează mai multe centre de cristalizare şi cu atât mai mică este viteza de cristalizare. Deaceea, la răcirea rapidă a metalelor sau a aliajelor, se formează o cantitate mare de cristale mici, iar la răcirea înceată cristalele au dimensiuni mai mari, dar numărul lor este mai mic.

Inafară de viteza de răcire prezenţa adausurilor şi a impurităţilor din metale influenţează asupra caracterului cristalizării. Odată cu creşterea gradului de răcire se măreşte considerabil şi numărul centrelor de formare a cristalelor. In fig. 5 este reprezentată curba raportului dintre numărul centrelor de cristalizare, formate într'o unitate de timp

şi gradul de răcire. Intersecţia coordonatelor corespunde cu punctul de topire al substanţei. Fiecărei temperaturi de răcire îi corespunde o ordonată anumită, care arată numărul centrelor de cristale formate în acel moment în metalul topit. Curba ne arată că la o răcire neînsemnată acest număr este foarte mic, iar la o răcire mai mare numărul creşte la început încet, apoi foarte repede. In fig. 6 se arată curba raportului dintre viteza de cristalizare şi gradul de răcire. Odată cu creşterea răcirii, viteza de cristalizare ca şi viteza de formare a cristalelor la început se măreşte, apoi un timp oarecare rămâne constantă pe porţiunea AB, şi scade incepând dela punctul B.

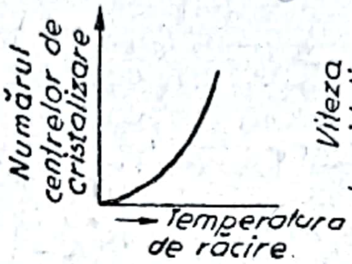


Fig. 5. Raportul dintre numărul centrelor de cristalizare şi gradul de răcire.

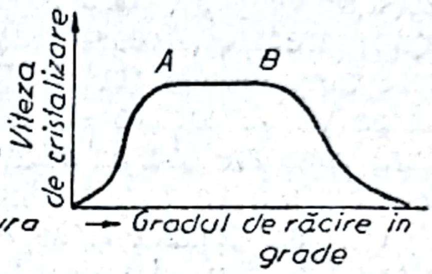


Fig. 6. Raportul dintre viteza de cristalizare şi gradul de răcire.

După cum am menţionat mai sus, viteza de cristalizare nu este uniformă în toate direcţiile, fapt care explică formarea cristalelor regulate în formă de prismă sau cub. Cristalele formate nu pot să se desvolte liber, întrucât sunt împiedicate de cristalele vecine, din care cauză ele nu capătă o formă exterioară determinată şi regulată. Cristalele care au o structură inferioară regulată şi o formă exterioară neregulată se numesc cristalite.

Cu cât cristalele formate sunt mai mari, cu atât diferenţa între rezistenţa cristalelor secţionate după direcţii diferite este mai mare.

Metalul nu se solidifică sub forma unui singur cristal ci în mai multe cristale. Numărul lor în 1 mm³ poate oscila între 1 până la 1 000 000. Deoarece axele cristalelor au adeseori direcţii diferite, proprietăţile întregului metal vor fi identice în toate direcţiile.

Desigur, dacă se vor studia porţiuni foarte mici din acest metal, se va observa cu uşurinţă fenomenul anisotropiei. Asemenea metale formate din multe cristale, de dimensiuni mici şi orientate în direcţii diferite, se numesc cvasi-isotrope aparent (isotrope).

In timpul trecerii din stare lichidă în stare solidă, cum şi în timpul răcirii ulterioare, aliajele suferă unele transformări însoţite de o oarecare degajare de căldură, cum şi de o schimbare a structurii şi a proprietăţilor lor.

Aceleaşi transformări se observă şi la încălzire, însă în acest caz ele sunt însoţite de consum de căldură. Astfel, studiind schimbările proprietăţilor fizice (duritate, conductibilitate electrică, dilatare, etc.), în timpul încălzirii sau răcirii metalelor sau aliajelor, se pot determina temperaturile la care au loc aceste schimbări. Pentru determinarea acestor temperaturi se utilizează adeseori procedeul termic, care se

bazează pe faptul că fiecare schimbare în aliaj este însoţită de un efect termic. Acest efect poate fi uşor constatat, deoarece el se observă din variaţia uniformă a temperaturii.

Temperatura la care se produc salturi de cădere sau de ridicare a temperaturii aliajelor, este temperatura de transformare a aliajului sau punctul lui critic. Astfel, temperaturile la care se produc transformările fizice sau chimice ale metalului sau ale aliajului se numesc puncte critice. Pentru a lămuri cele arătate mai sus, se va urmări solidificarea metalului pur.

Se va răci plumbul topit si se vor urmări variaţiile temperaturii cu ajutorul unui pirometru. La început temperatura va scădea uniform, apoi se va produce o staţionare, adică temperatura nu va scădea un timp oarecare. Această staţionare corespunde temperaturii de solidificare a plumbului (la 327 °C). Până ce nu se va solidifica tot plumbul, nu se va observa o scădere a temperaturii, cu tot consumul de căldură care are loc. Imediat ce tot plumbul va trece în stare solidă, temperatura va începe din nou să scadă uniform.

Aceste fenomene se explică în felul următor: în timpul trecerii plumbului din stare lichidă în stare solidă se degajează o căldură interioară, cari menţine temperatura la acelaşi nivel. Dacă se va nota scăderea temperaturii în timp şi se va trasa o curbă, se va obţine astfel o curbă de răcire (fig. 7), unde limita BC corespunde tempe-

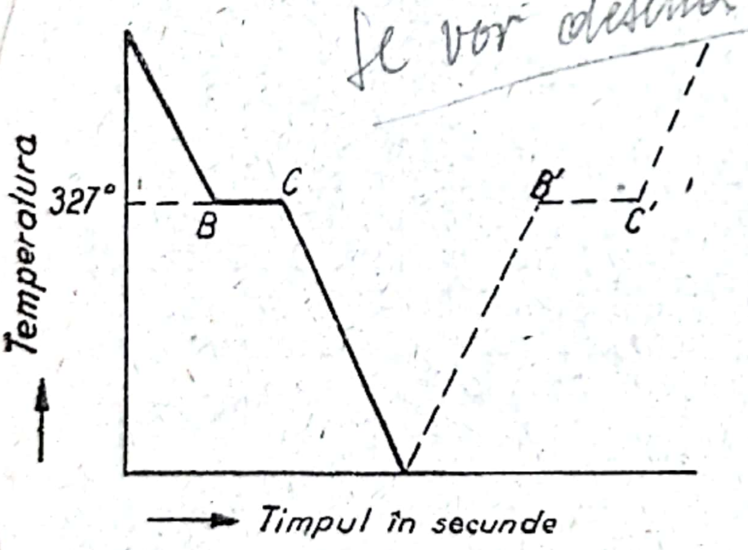


Fig. 7. Curba de răcire şi de încălzire a plumbului.

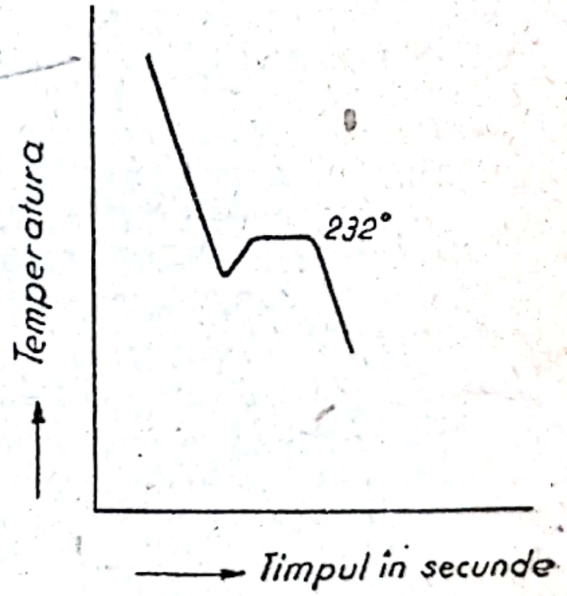


Fig. 8. Curba de răcire a cositorului.

raturii de solidificare a metalului pur. Dar la metale această curbă are adeseori o altă formă. Răcirea metalului lichid până la punctul lui de topire nu presupune că metalul începe imediat să cristalizeze.

Toate metalele pot fi suprarăcite (adică temperatura începutului de cristalizare poate fi întrucâtva mai joasă decât temperatura de topire). La unele metale această suprarăcire este aproape neobservată.

iar la altele ea atinge valori însemnate. Metalul lichid suprarăcit este nestabil şi această nestabilitate este cu atât mai mare, cu cât suprarăcirea creşte. In fig. 8 se arată curba de răcire a cositorului. Deşi cositorul se solidifică la 232 °C se vede după curbă că scăderea uniformă a temperaturii continuă ceva mai jos, adică temperatura scade la început, iar apoi în timpul solidificării se observă un salt şi temperatura se ridică până la 232 °C. Acest fenomen se numeşte suprarăcire şi are o mare importanţă în tehnică (de exemplu la călirea oţelului). Ridicarea bruscă a temperaturii este provocată de căldura care se degajează în timpul cristalizării metalului lichid. Fenomenul de suprarăcire poate fi agitat prin evitarea metalului lichid.

Dacă în tot timpul răcirii metalului solidificat se produce o trecere dintr'o stare solidă în alta, aceste transformări se numesc alotropice sau polimorfe. In acest caz, la scăderea temperaturii vom avea câteva puncte staţionare.

Corpurile solide care suferă schimbări alotropice pot fi întâlnite sub diferitele stări.

5.1. ~~2.~~ Noţiuni despre aliaje

In tehnică metalele pure se utilizează destul de rar; de cele mai multe ori se întrebuinţează aliajele, care sunt corpuri compuse obţinute din două sau mai multe componente. Corpurile care sunt necesare şi suficiente pentru alcătuirea aliajului şi care pot exista ca elemente pure sub formă de compuşi chimici, se numesc componente.

5.1.1. Aproape întotdeauna aliajele se obţin prin topirea şi disolvarea unuia sau a mai multor corpuri într'un alt corp, operaţie urmată apoi de o răcire. Aliajele se pot obţine însă şi fără topirea acestor corpuri. De exemplu: se poate obţine aliajul aluminiului cu fierul sau al fierului cu carbonul prin încălzirea lor concomitentă, în stare solidă. Aliajele au proprietăţi cu totul deosebite de cele ale corpurilor din care se compun. O cantitate mică dintr'un corp adăugată la alt corp îi schimbă considerabil proprietăţile iniţiale.

Există foarte multe aliaje, dar pentru a le cunoaşte este necesar să analizăm câteva din cele mai caracteristice. Pentru studierea fenomenelor care iau naştere în aliaje, este necesar să se cunoscă în primul rând natura aliajului, iar pentru aceasta este nevoie să se dea câteva noţiuni despre amestecuri.

5.1.2. Când corpurile solide se găsesc în contact cu lichidele, ele se amestecă integral sau parţial cu acestea formând amestecuri omogene, numite soluţii. Sunt bine cunoscute amestecurile apei cu sarea, cu zahărul, etc. Disolvarea unui corp în altul se explică prin faptul că particulele unui corp (atomi, molecule) pătrund în alt corp. Cantitatea de corp solid care se poate disolva într'un volum anumit de lichid poate varia şi depinde de natura celor două corpuri (zahăr, sare) de temperatură şi de presiune.

Cantitatea de corp disolvat, exprimată în procente, constitue ceeace se numeşte concentraţia amestecului.

5.1.3 Corpurile solide, ca şi unele corpuri lichide, constitue prin amestecul lor aliaje diferite. Un amestec simplu în care un corp solid este disolvat într'un alt corp se numeşte soluţie solidă.

Deosebirea dintre soluţia solidă şi o combinaţie chimică constă în faptul că o combinaţie chimică are o dozare determinată, în timp ce concentraţia unei soluţii solide poate varia.

Amestecul solid se deosebeşte de cel lichid prin faptul că în amestecul lichid particulele corpului disolvat se găsesc într'o permanentă şi desordonată mişcare, schimbându-şi locurile lor, în timp ce într'un amestec solid atomii corpului disolvat ocupă, în spaţiul reţelei disolvantului, o poziţie definită.

Datorită analizei structurii, cu ajutorul razelor Roentgen, utilizate în cercetarea aliajelor, s'a putut stabili că în amestecul solid atomii corpului disolvat se găsesc înăuntrul spaţiul reţelei disolvantului, între atomi, sau ocupă locurile atomilor disolvantului.

Pătrunderea treptată a particulelor unui corp în altul se chiamă difuziune. Difuziunea este utilizată în tehnică de foarte mult timp. De exemplu, de multă vreme se practică cementarea oţelului moale cu carbon, operaţie care are ca rezultat obţinerea durităţii superficiale. 5.1.4 Acest fenomen a putut fi explicat numai după ce a fost înţeleasă difuziunea între corpuri. Difuziunea este condiţionată de concentraţie şi de temperatură. Cu cât concentraţia a două corpuri ce vin în contact e mai diferită şi cu cât temperatura e mai ridicată, cu atât se efectuează mai repede fenomenul difuziunii.

Intr'un aliaj solid se pot deosebi: soluţia solidă, combinaţia chimică şi elementele pure (metale sau metaloizi). Acestea din urmă pot exista sub formă de granule foarte mici şi pot forma între ele amestecuri în care se pot observa elemente separate numai cu microscopul de o putere mare. Calitatea aliajului şi proprietăţile lui sunt determinate de prezenţa uneia sau alteia dintre componentele structurale.

3. Intocmirea diagramelor de echilibru ale aliajelor formate din doi componenţi

In timpul solidificării aliajelor formate din doi componenţi se pot observa diferite cazuri de transformări caracterizate prin câteva tipuri de diagrame, aşa numitele diagrame de echilibru. Diagramele de echilibru arată ce fel de componenţi participă în aliaj la diferite temperaturi şi presiuni.

Pentru aliajele de metal presiunea în condiţiile obişnuite de efectuare a experienţelor este egală cu o atmosferă, din care cauză raţionamentele în legătură cu diagramele de echilibru se fac ţinând seama numai de temperatură şi de construcţia aliajului. Deobicei, pentru întocmirea diagramelor de echilibru se iau câteva aliaje de diferite con-

centraţii şi se defineşte temperatura care corespunde punctelor critice. Insemnând aceste temperaturi la o scară definitivă pe ordonatele care corespund cu un aliaj de o anumită concentrare şi unind punctele obţinute prin linii, se obţine o diagramă de echilibru. Pentru a înţelege mai bine acest lucru, să se construiască o diagramă de echilibru pentru aliajele plumbului (Pb) şi ale stibiului (Sb).

Se începe prin a se încălzi uniform plumbul; la temperatura de 327 °C plumbul va începe să treacă din starea solidă în starea lichidă şi cu toate că se continuă încălzirea, temperatura nu se ridică. Din moment ce întreaga cantitate de plumb va fi topită, ridicarea temperaturii începe din nou. In fig. 7 este prezentată cu linie punctată curba de încălzire. Pe această curbă linia *B′ C′* corespunde absorbţiei de căldură cu menţinerea constantă a temperaturii. Se observă că în timpul răcirii şi al încălzirii plumbului există un singur punct la temperatura 322 °C, care arată sau solidificarea plumbului (curba de răcire) sau topirea lui (curba de încălzire). In felul acesta, temperatura de 327 °C reprezintă temperatura critică a plumbului, căreia s'a obişnuit să i se spună, punctul critic.

Acum se ia un aliaj de cinci procente stibiu în plumb în stare lichidă şi se începe răçirea lui, luându-i la intervale egale de timp o cantitate egală de căldură.

Se constată că scăderea uniformă a temperaturii se întrerupe după ajungerea la temperatura de 296 °C. Incepând cu această temperatură, răcirea încetineşte, cu toate că pierderea de căldură continuă cu aceeaşi viteză. Temperatura de 296 °C corespunde începutului solidificării cristalelor de plumb. Această solidificare va continua până la temperatura de 247 °C. Intrucât cantitatea de plumb în restul de aliaj lichid se micşorează, iar cantitatea de stibiu din el rămâne neschimbată, în acest caz concentraţia, adică conţinutul procentual de stibiu din aliaj se va mări odată cu scăderea temperaturii. La temperatura de 247 °C conţinutul de stibiu din aliaj va atinge 13% şi în acest caz scăderea temperaturii se va opri definitiv. Această oprire corespunde solidificării aliajului cu 13% stibiu, care trece din starea lichidă în starea solidă formând cristale alternative de plumb şi de stibiu.

După solidificarea completă a acestui aliaj, temperatura începe din nou să scadă.

In felul acesta până la 296 °C a fost un aliaj lichid de 5% stibiu, iar dela 296 °C până la 247 °C s'au format cristale de plumb şi aliaj lichid şi însfârşit, sub 247 °C — s'au constatat cristale de plumb şi aliaj solid, conţinând 13% stibiu. Temperaturile de 296 °C şi 247 °C reprezintă punctele critice ale aliajului de 5% stibiu şi 95% plumb care s'au cercetat mai sus.

In fig. 9*a* este prezentată curba de răcire a acestui aliaj.

Dacă s'ar studia încă o serie de aliaje, cu un conţinut de stibiu până la 13%, s'ar constata că temperatura primei opriri va depinde

de concentraţia aliajului şi anume: cu cât concentraţia aliajului este mai mare, cu atât este mai scăzută temperatura. A doua oprire însă se va produce la aceeaşi temperatură (247 °C) pentru toate aliajele.

La răcirea unui aliaj de 13% stibiu se observă numai o singură temperatură (la 247 °C), în timpul căreia întregul aliaj lichid trece în stare solidă (fig. 9*c*).

Insfârşit, cercetând răcirea unui aliaj, care conţine mai mult de 13% stibiu, se vor constata iarăşi două puncte critice. Primul punct critic va corespunde începutului de formarea cristalelor de stibiu.

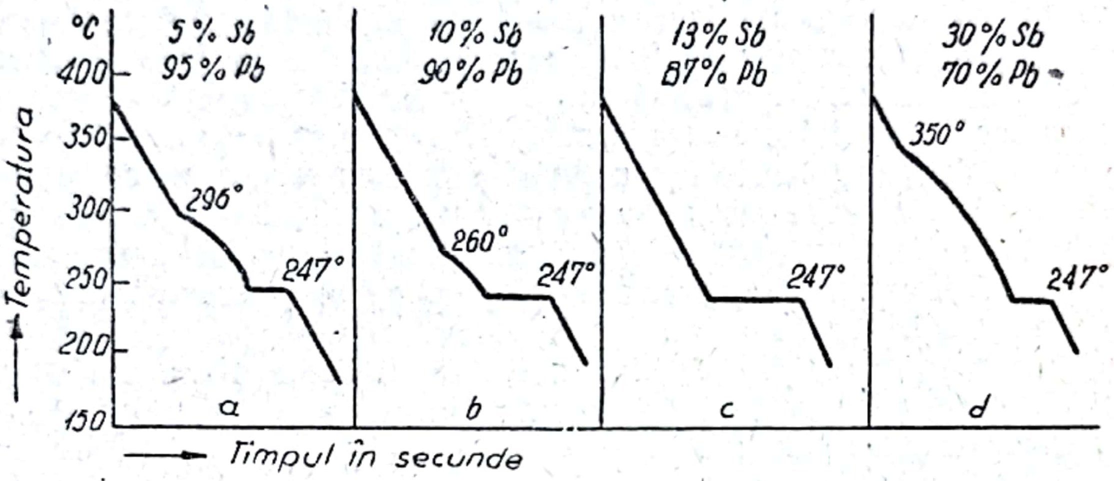


Fig. 9. Curbele de răcire ale aliajelor de plumb şi stibiu.

Această formare a cristalelor şi scăderea temperaturii vor continua până la 247 °C. La temperatura de 247 °C (al doilea punct critic) aliajul atingând concentraţia de 13% stibiu, va începe să se solidifice, formând cristale alternative de stibiu şi de plumb. O nouă scădere a temperaturii începe numai după ce aliajul se solidifică (fig. 9*d*). Astfel, până la prima oprire se constată un aliaj lichid, iar dela prima oprire până la a doua (247 °C) se formează cristale de stibiu şi aliaj lichid şi însfârşit, sub 247 °C se vor găsi cristale de stibiu şi aliaj solidificat cu un conţinut de 13% stibiu.

Dacă se va urmări răcirea altor aliaje, care conţin mai mult de 13% stibiu, se va ajunge la concluzia că temperatura primului punct critic depinde de concentraţia aliajului şi anume cu cât este mai mult stibiu, cu atât temperatura va fi mai mare; temperatura celui de al doilea punct critic este aceeaşi pentru toate aliajele (247 °C).

Dacă se va însemna pe axa absciselor (orizontală) la orice scară (se presupune 1 mm = 1% stibiu), conţinutul procentual de stibiu în aliaj, iar pe axa ordonatelor (verticală) temperaturile corespunzătoare ale punctelor critice şi se vor uni punctele obţinute, se va desena o diagramă (fig. 10) de solidificare a aliajelor de plumb şi de stibiu, sau aşa numita diagramă de echilibru. Aceste diagrame se numesc adesea şi diagrame de aliaj, întru cât ele înfăţişază solidificarea şi topirea aliajelor.

Linia ABC (fig. 10) reprezintă temperaturile critice, la care are loc prima schimbare de stare a aliajelor. Linia AB arată temperatura începutului de formare a cristalelor de plumb din aliajele care conţin mai puţin de 13% stibiu. Linia BC arată temperaturile începutului de formare a cristalelor de stibiu din aliajele care conţin mai mult de 13% stibiu. Linia ED corespunde solidificării aliajelor cu 13% stibiu.

Asemenea aliaje de una şi aceeaşi compoziţie, care se solidifică la temperatura cea mai joasă şi constantă, se numesc aliaje eutectice (care se topesc uşor). Un aliaj eutectic solidificat se numeşte amestec eutectic sau eutectică. Eutectica constă din cristale alternative de plumb şi de stibiu sub formă de plăci.

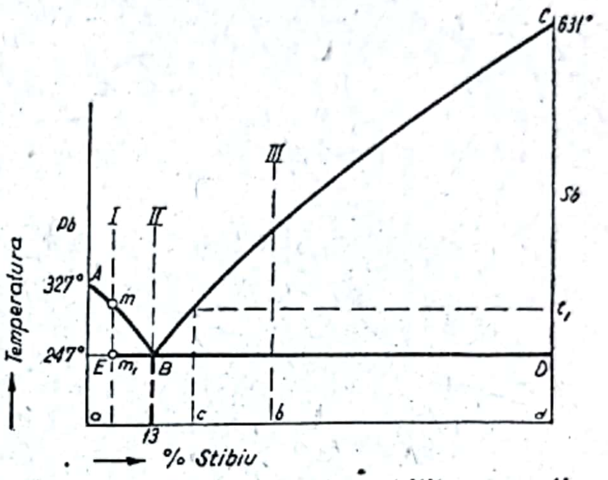


Fig. 10. Diagrama de echilibru a aliajelor de plumb cu stibiu.

In fig. 11 sunt prezentate fotografii de aliaje, care conţin 5%, 13% şi 40% stibiu (G. A. Caşcenco).

Pentru a se putea înţelege diagrama complicată fier-carbon, se cercetează întâi câteva diagrame, relativ simple:

1) Ambii componenţi se separă din faza lichidă sub formă pură;

2) Componenţii formează în cursul solidificării aliajului o serie de soluţii solide de diferite concentraţii;

3) Componenţii se disolvă în stare solidificată unul în altul în cantităţi limitate;

4) Componenţii formează una sau mai multe combinaţii chimice.

4. Diagrama de echilibru a aliajelor în care componenţii se separă din starea lichidă sub formă pură şi nu se disolvă unul în altul, în stare solidă

Se va cerceta mai deaproape diagrama aliajelor plumbului (Pb) cu stibiu (Sb) (fig. 10).

Dacă se ia un aliaj, care conţine mai puţin de 13% stibiu şi se începe răcirea lui, în acest caz la temperatura punctului m vor începe să se formeze cristale de plumb, iar aliajul lichid rămas va pierde plumb până în momentul când concentraţia lui va atinge punctul B, ceeace se va produce la 247 °C (punctul m_1). La această temperatură, întreaga soluţie lichidă rămasă cu 13% stibiu se va solidifica, formând un amestec eutectic, constituit din cristale alternative de stibiu şi plumb. Un aliaj răcit definitiv va fi format din plumb şi din amestec eutectic.

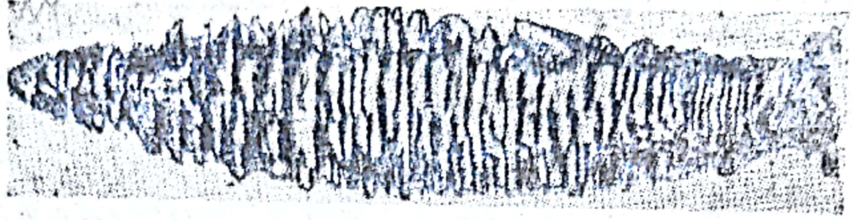


Fig. 4. Cristalul Cernov.

5% Sb 13% Sb 40% Sb

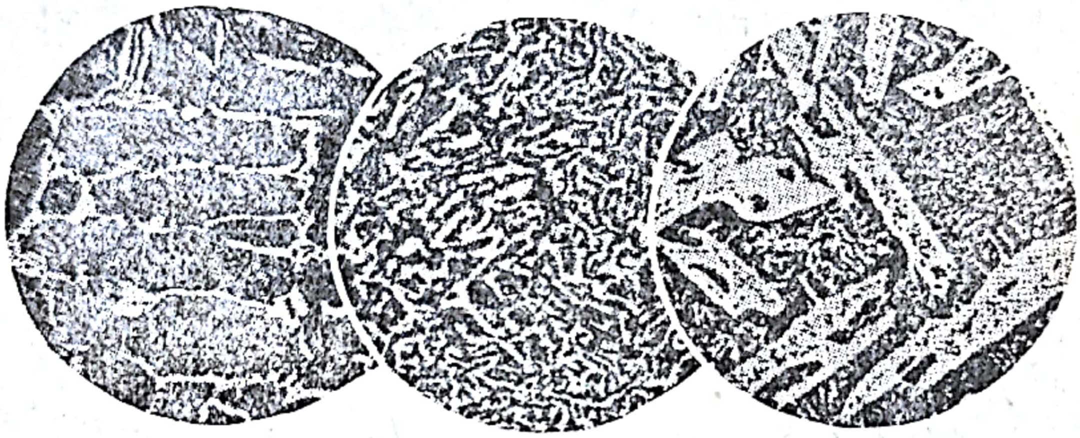
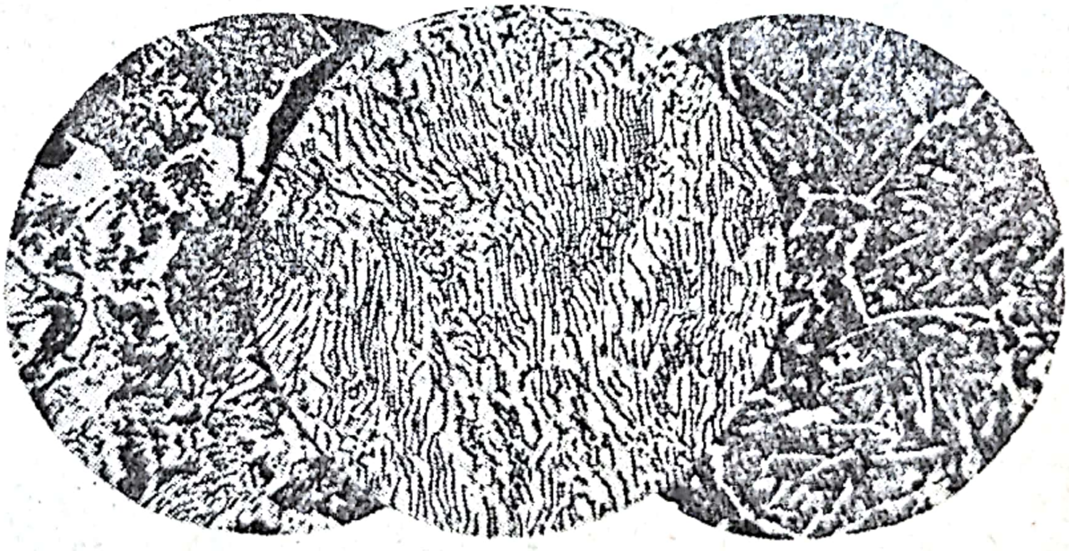


Fig. 11. Microstructura aliajelor de stibiu și plumb.



a *b* *c*

Fig. 18. Microstructura oțelului carbon:
a — aliajul I (ferită plus perlită);
b — „ II (perlită);
c — „ III (perlită plus cementită)

Dacă se încălzeşte un astfel de aliaj (fig. 10), atunci la 247 °C amestecul eutectic se va topi, iar dacă se continuă încălzirea, se va începe topirea treptată a plumbului în aliajul lichid. Insfârşit, la temperatura punctului *m*, se va disolva tot plumbul şi mai sus de această temperatură va fi o singură soluţie lichidă.

Aliajul din grupa *II* (eutectic) se va solidifica sau se va topi la aceeaşi temperatură (247 °C).

Dacă se va lua aliajul din grupa *III* cu un conţinut de stibiu mai mare 13% şi se va răci, în acest caz, la început stibilul va cristaliza. După aceea nu se va mai produce nicio schimbare. Aliajul rămas cu un conţinut de 13% stibiu se va topi (la încălzire) sau se va răci (la răcire), la aceeaşi temperatură (247 °C);

Diagrama de echilibru prezintă nu numai situaţia transformărilor care au loc în aliaje, ci şi a raporturilor cantitative dintre cristalele formate şi soluţia iniţială rămasă. De pildă, se va lua aliajul *III*, care conţine ab% stibiu şi se va cerceta la temperatura t_1.

Se presupune că s'a luat în total Q g de aliaj.

Cantitatea cristalelor de stibiu ce se degajă din aliaj la temperatura t_1 se va însemna prin x.

In acest caz cantitatea soluţiei iniţiale va fi de $Q-x$.

In aliaj au fost în total $Q\frac{ab}{100}$ g stibiu,iar la temperatura t_1, o parte din stibiu s'a lăsat în jos în stare pură, în timp ce altă parte a rămas în soluţia iniţială, de unde urmează:

$$Q\frac{ab}{100}=x+\frac{Q-x}{100}ac$$

unde $\frac{Q-x}{100}ac$ — reprezintă cantitatea de stibiu, care a rămas în soluţia iniţială lichidă.

Simplificând expresia de mai sus, găsim:

$$Q\cdot ab=100\,x+Q\cdot ac-x\cdot ac;$$
$$x\,(100-ac)=Q\,(ab-ac).$$

Dar $100-ac=cd$, iar $ab-ac=cb$.

Rezultă:

$$x\cdot cd=Q\cdot cd;$$
$$\frac{x}{Q}=\frac{cb}{cd}.$$

Scăzând din fiecare numitor numărătorul corespunzător, datorită cărui fapt ecuaţia nu se va schimba, se poate scrie:

$$\frac{x}{Q-x}=\frac{cb}{cd-cb};\qquad \frac{x}{Q-x}=\frac{cb}{bd}$$

Aplicând această ecuaţie la un aliaj la temperatură de 247 °C, se poate defini cantitatea de eutectică formată.

Acest raport se păstrează şi atunci când se continuă răcirea.

După primul tip de diagramă de echilibru se răcesc aliajele: cadmiu — zinc, cadmiu — bismut, plumb — argint, aluminiu — siliciu, aluminiu — staniu.

5. Diagrama de echilibru a aliajelor în care componenţii constitue în timpul răcirii o serie de soluţii solide de diferite concentrări

Cercetând diagrama de mai sus, s'a văzut că soluţia lichidă se descompune în timpul răcirii în cristalele unuia din metale şi în eutectică (amestecul mecanic al stibiului şi plumbului).

Totuşi există o serie de aliaje, la care nu se produce o astfel de descompunere, iar în timpul răcirii aliajului lichid se formează soluţii solide. In unele cazuri, aliajele formează soluţii solide la toate concentraţiile, iar în alte cazuri — numai până la anumite concentraţii.

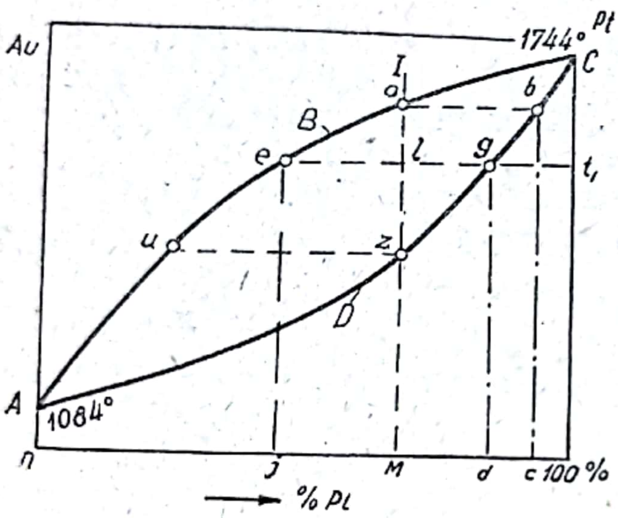


Fig. 12. Diagrama de echilibru a aliajelor de aur şi platină.

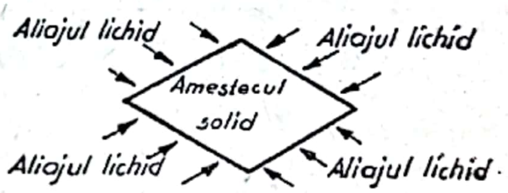


Fig. 13. Reprezentarea schematică de difuziune la solidificarea aliajului.

Drept exemplu din categoria primelor aliaje, pot servi aliajele din aur şi platină (fig. 12).

Se ia aliajul I şi se urmăreşte solidificarea lui. In punctul a începe separarea cristalelor soluţiei solide de aur în platină. Aceste cristale vor conţine $Oc\,^0/_0$ platină. La scăderea temperaturii, separarea soluţiei solide va continua, dar conţinutul în aur în această soluţie va creşte; iar aliajul lichid deasemenea se va îmbogăţi cu aur. Aceasta se explică prin faptul că, cristalele care se separă conţin mai puţin aur decât soluţia lichidă din care s'au degajat.

La temperatura t_1 se formează o soluţie solidă, a cărei concentraţie se caracterizează prin punctul g; cu alte cuvinte soluţia solidă va avea $Od\,^0/_0$ platină; concentraţia aliajului lichid rămas se va caracteriza prin punctul e.

La continuarea scăderii temperaturii, concentraţia soluţiei solide se schimbă pe linia CDA, iar concentraţia soluţiei lichide se schimbă

pe linia *CBA*, cu care ocazie cantitatea soluţiei iniţiale se micşorează treptat, apropiindu-se în punctul *u* de zero adică în punctul *z* aliajul se solidifică în întregime.

Deşi la început are loc formarea cristalelor soluţiei solide cu un conţinut mai mic de aur, la o răcire mai lentă se obţin toate cristalele de aceeaşi concentraţie. O astfel de creştere a cristalelor formate mai devreme se face în contul difuziunii din aliajul lichid.

O condiţie absolut necesară pentru egalarea completă a concentraţiei este răcirea foarte lentă în timpul solidificării. Dacă aceasta n'ar avea loc, nu s'ar produce creşterea, la început, a cristalelor formate şi ele ar fi de diferită concentraţie. Fig. 13 ne prezintă o schemă în legătură cu fenomenul difuziunii la solidificarea unui astfel de aliaj.

A doua încălzire a aliajului solid până la temperaturi înalte şi menţinerea lui timp mai îndelungat la aceste temperaturi contribue la egalarea concentraţiei, deşi aici trebue să se admită că unele elemente difuzează slab şi din această cauză a doua încălzire aproape că nu are nicio influenţă asupra repartizării lor.

Cantitatea de cristale formate de o soluţie solidă se defineşte în modul următor:

Se presupune că aliajul întreg va fi Qg.

Cantitatea cristalelor formate la temperatura t_1 a unei soluţii solide se însemnează cu x; în acest caz $Q - x$ reprezintă cantitatea soluţiei iniţiale rămase.

Cantitatea totală a platinei în aliaj este de

$$\frac{Q \cdot O_M}{100} \text{ grame}$$

Cantitatea platinei în soluţia solidă formată este:

$$\frac{x \times Od}{100} \text{ grame}$$

Cantitatea platinei în soluţia iniţială:

$$\frac{Q - x}{100} \times Oj.$$

Evident că:

$$\frac{Q \cdot O_M}{100} = \frac{x \cdot Od}{100} + \frac{(Q - x) \cdot Oj}{100};$$

$$Q \cdot O_M = x\, Od + Q \cdot Oj - x \cdot Oj$$

$$Q\,(O_M - Oj) = x(Od - Oj)$$

$$x = \frac{Q\,(O_M - Qj)}{Od - Oj} = \frac{Q \cdot j_M}{jd} = O\,\frac{el}{eg}.$$

6. Diagrama de echilibru a aliajelor în care componenţii se disolvă în stare solidă în raporturi limitate

Drept exemple ale acestor aliaje pot servi aliajele din plumb şi bismut (fig. 14).

La răcirea aliajului lichid din grupa I (15% bismut şi 85% plumb), în punctul *a* vor începe să se formeze cristalele soluţiei solide de bismut în plumb. Compoziţia chimică a acestor cristale se poate defini dacă prin „*a*“ se trage o linie orizontală până la intersecţia cu linia *AF*. Punctul de intersecţie *b* va corespunde compoziţiei chimice a cristalelor formate. La următoarea scădere a temperaturii are loc o nouă formare de cristale a soluţiei solide din aliajul lichid. Compoziţia soluţiei lichide se poate defini dacă se duce prin punctul corespunzător o linie orizontală până la intersecţia ei cu linia *AB*.

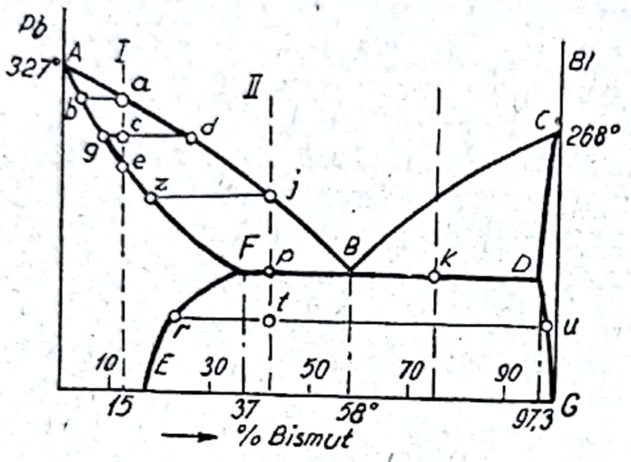


Fig. 14. Diagrama de echilibru a aliajelor din plumb şi bismut.

De pildă, la o temperatură care corespunde punctului *c*, compoziţia părţii solide a aliajului se defineşte prin punctul *g*, iar compoziţia aliajului lichid rămas — prin punctul *d*; cu alte cuvinte, cristalele formate vor conţine aproximativ 10%, iar soluţia lichidă — 25% bismut.

In punctul *e* aliajul lichid se va solidifica definitiv şi se va constata o soluţie solidă cu 15% bismut.

Se va urmări acum solidificarea aliajului din grupa II. In punctul *j* se vor forma primele cristale ale unei soluţii solide de concentraţii *z*. In punctul *p* aliajul se va solidifica complet şi se va compune din cristalele compoziţiei „*F*“ şi ale compoziţiei eutectice „*B*“. In acest caz eutectica este formată din cristalele „*F*“ (37% bismut) şi din cristalele „*D*“ (97,3% bismut).

La o continuare a scăderii temperaturii, cristalele soluţiilor solide îşi schimbă compoziţia. Compoziţia lor chimică va fi definită prin punctele de intersecţie ale liniei orizontale cu liniile *FE* şi *DG*. De pildă, la temperatura *t* compoziţia lor va fi caracterizată de punctele *r* şi *u*.

Insfârşit, într'un aliaj care conţine mai mult de 58% bismut, în timpul solidificării se vor forma la început cristalele soluţiei solide de plumb în bismut. In punctul *K*, aliajul se va solidifica definitiv şi va fi format din cristalele compoziţiei *D* şi din eutectica compoziţiei *B*, care, cum se ştie, este format din cristalele compoziţiei *F* şi *D*.

7. Diagrama de echilibru a aliajelor, în care componenţii formează combinaţii chimice în timpul solidificării

Drept exemplu al diagramei de acest tip poate servi diagrama de echilibru a aliajelor din magneziu (Mg) cu zinc (Zn) (fig. 15).

Pe linia *AB* începe să se formeze cristalele de zinc; pe linia *BCD* se formează o combinaţie chimică; pe linia *DE* se formează cristalele de magmeziu.

Ordonata *CF* a diagramei se împarte în două, în care compusul comun va fi combinata chimică $MgZn_2$.

Impărţind diagrama în două părţi se pot uşor constata fenomenele care se petrec în aliaje în timpul solidificării.

Pe această diagramă vor fi două amestecuri eutectice ale combinaţiei *B* şi *D*. Eutectica combinaţiei *B* se compune din cristale de zinc şi dintr'o combinaţie chimică. Eutecticul compoziţiei *D* se compune din cristale de magneziu şi din aceeaşi combinaţie chimică $MgZn_2$.

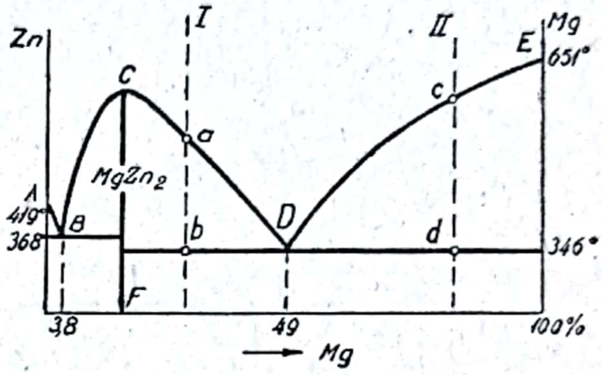


Fig. 15. Diagrama de echilibru a aliajelor din magneziu-zinc.

Se va lua un aliaj de grupa I şi se va urmări solidificarea. In punctul „*a*" începe să se formeze combinaţia chimică $MgZn_2$. La o continuare a răcirii va continua să se formeze combinaţia chimică, iar concentrarea soluţiei lichide rămase se va transforma după curba *CD*.

In punctul *b* va avea loc solidificarea aliajului, a cărui compoziţie chimică se defineşte după punctul *D*. In felul acesta aliajul solidificat I va fi format dintr'o combinaţie chimică şi din eutecticul *D*, care, la rândul său, se compune dintr'o combinaţie chimică şi din magneziu pur.

Dacă se va lua un aliaj de grupa II, se va observa că începând cu punctul *c* se va forma Mg pur, iar în punctul *d* soluţia lichidă rămasă de concentraţia *d*, se va solidifica şi aliajul va fi format din magneziu şi eutecticul punctului *D*. După acest tip de diagramă se solidifică aliajele: magneziu-staniu, magneziu-cupru, magneziu-zinc, magneziu-bismut.

8. Diagrama de echilibru a aliajelor fier-carbon

După cercetarea diagramelor simple de echilibru a aliajelor se va cerceta acum o diagramă de echilibru compusă şi foarte importantă pentru practică, diagrama aliajelor fier-carbon.

Diagrama fier-carbon a fost construită în 1899 pe baza unor serii de lucrări, dintre care prima este descoperirea lui D. C. Cernov, care

demonstrează că în oţel există puncte critice şi că poziţia acestor puncte depinde de conţinutul de carbon.

In această diagramă (fig. 16) pe axa ordonatelor sunt însemnate temperaturile în grade, iar pe axa absciselor sunt însemnate compoziţia aliajelor, din care ultimul aliaj conţine 6,67% carbon. Aliajele cu un conţinut mai mare de carbon nu prezintă interes. La fel ca şi în diagramele cercetate mai sus, liniile acestei diagrame arată temperaturile la care au loc transformările în oţel.

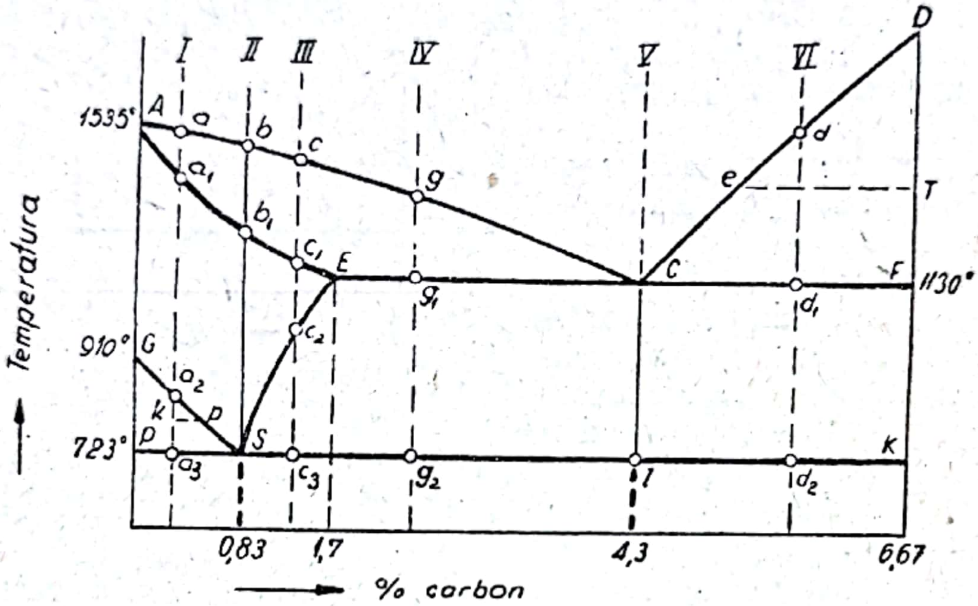


Fig. 16. Diagrama de echilibru a aliajelor fier-carbon.

Mai sus de liniile *AC* şi *CD* aliajele se află în stare lichidă şi reprezintă o soluţie lichidă de carbon în fier. Liniile *AC* şi *CD* caracterizează începutul, iar liniile *AE* şi *EF* caracterizează sfârşitul solidificării aliajelor. A. A. Baicov este primul care a arătat că aliajele aflate în regiunea *AESG*, reprezintă o soluţie solidă de carbon în fier γ. Această soluţie se numeşte austenită.

In regiunea *EFKS* aliajele sunt compuse dintr'o soluţie solidă (austenit) şi din compoziţia chimică Fe_2C (cementită), ce conţine 6,67% carbon. Mai jos de liniile *AC* şi *CD* aliajele, sunt compuse corespunzător dintr'un aliaj lichid şi dintr'un aliaj solid (regiunea *ACE*) sau dintr'un aliaj lichid şi din cementită (regiunea *CDF*).

Cum se poate uşor observa, partea de sus a diagramei ne aminteşte foarte mult de diagrama plumbului cu bismut. Totuşi pe diagrama fier-carbon mai există câteva linii jos. Aceste linii corespund transformărilor care au loc în oţel în stare solidă.

Pe linia *GS* din austenită începe să se degaje fier curat (ferita), iar pe linia *ES* — cementită. Pe linia *PSK* depunerea încetează, iar austenita rămasă se transformă într'un amestec de ferită şi cementită. Deoarece acest amestec nu este un produs al descompunerii aliajului

lichid, ci a soluţiei solide, deaceea se numeşte eutectoid sau amestec eutectoid.

Se vor lua câteva aliaje lichide de diferite concentraţii şi să urmărim ce se întâmplă cu ele în timpul răcirii.

Aliajele cu un conţinut de carbon până la 0,83%. In punctul a (fig. 16) începe să se formeze din aliajul lichid cristalele soluţiei solide γ (austenită). Această transformare va continua până la punctul a_1. La temperatura ce corespunde punctului a_1, întregul aliaj se solidifică şi va fi format din austenită. La o continuare a scăderii temperaturii până la punctul a_2, austenita rămâne fără transformări evidente şi numai în punctul a_2 începe să se degaje din ea ferită (fier pur, fier α). Compoziţia chimică a austenitei rămase se va transforma pe linia GS. De pildă la temperatura care corespunde punctului K, se va afla compoziţia sa chimică, dacă prin K se va duce o linie orizontală până la intersecţia cu linia GS. Punctul p va caracteriza compoziţia soluţiei solide rămase. Fierul α nu este magnetic mai sus de 775 °C dar mai jos de această temperatură capătă magnetism.

Insfârşit, în punctul a_3 nu are loc nicio transformare şi aliajul răcit complet va fi compus din ferită şi perlită. In fig. 17 *a* se prezintă schematic o ferită şi perlită. Perlita este arătată sub formă de zone alternative de ferită şi cementită, iar ferita — sub formă de reţea albă pe marginea boabelor de perlită.

La răcirea unui oţel cu 0,83% carbon (aliaj de grupa II), întreaga austenită trece în punctul S în perlită. De aici urmează că un asemenea aliaj se va compune din perlită (fig. 17 *b*). Un aliaj cu 0,83% carbon se numeşte eutectoid. Punctul S se numeşte punct eutectoid, iar linia orizontală PK, ce trece prin acest punct, se numeşte linie eutectoidă.

Oţelul cu un conţinut de carbon mai mic de 0,83% poartă denumirea de oţel hipoeutectoid, spre deosebire de cel hipereutectoid, prin care se înţelege un oţel cu un conţinut de carbon mai mare de 0,83%.

Aliajele cu un conţinut de carbon dela 0,83% până la 1,7%. Se ia un aliaj de grupa III. La scăderea temperaturii aliajului lichid în punctul c (fig. 16) va începe să se degajeze austenitul şi această degajare va continua până la punctul C_1. In punctul C_1 aliajul se va solidifica complet şi se va compune numai din austenită. La o scădere a temperaturii până în punctul C_2 nu va avea loc nici o transformare. In punctul C_2 va începe să se formeze o combinaţie chimică (cementita). Depunerea cementitei (conţine 6,67% carbon) va provoca scăderea cantităţii de carbon în austenită, pentru care fiecare moment dat se va defini prin punctul de intersecţie ES cu linia orizontală, trasă la temperatura corespunzătoare. Insfârşit în punctul C_3 austenita rămasă cu o concentraţie de 0,83% carbon se descompune în perlită.

Astfel şi în acest caz austenita rămasă se transformă în perlită. Totuşi în aliajul de grupa I mai exista încă ferită, în timp ce într'un

aliaj de grupa III în loc de ferită va fi cementită, adică aliajul de grupa III după răcire se va compune din perlită şi cementită. In fig. 17 *b* avem o prezentare schematică a acestui aliaj unde cementita este arătată sub formă de reţele şi ace. In fig. 18 sunt prezentate microfotografii ale oţelului hipoeutectoid, eutectoid şi hipereutectoid.

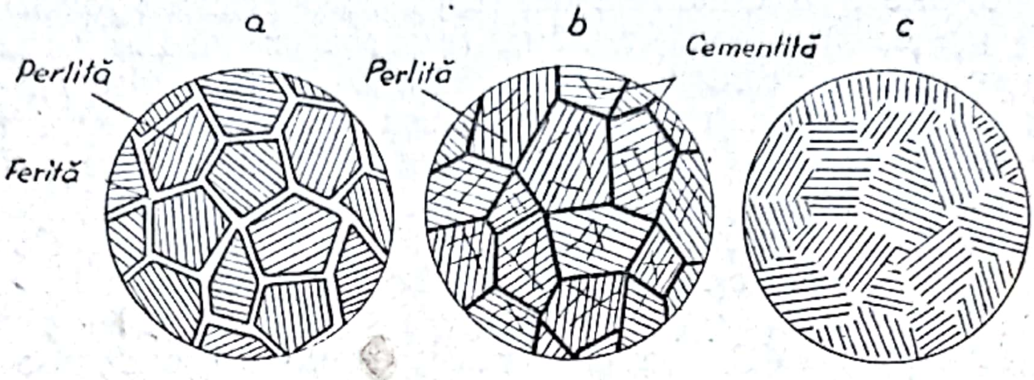


Fig. 17. Prezentarea schematică a feritei, perlitei şi cementitei.

Aliaje cu un conţinut de carbon dela 1,7⁰/₀ până la 4,3⁰/₀. Să luăm un aliaj lichid de grupa IV. In punctul g începe separarea austenitei. La o continuare a scăderii temperaturii concentraţia aliajului lichid rămas se transformă pe linia AC, iar concentraţia austenitei — pe AE. In punctul g_1 întregul aliaj lichid rămas cu o concentraţie de 4,3⁰/₀ carbon se va transforma în amestec eutectic, compus din austenită cu o concentrare de 1,7⁰/₀ carbon şi din cementită. In felul acesta aliajul la temperatura punctului g_1 va fi format dintr'un amestec eutectic numit ledeburită şi din austenita care se va degaja în intervalul temperaturilor dela g la g_1.

La o continuare a răcirii, din austenită se va degaja cementita şi conţinutul de carbon din ea va începe să se micşoreze. Când temperatura se va coborî până la punctul g_2 austenita cu un conţinut de 0,83⁰/₀ carbon, se va descompune în perlită.

Ca un rezultat al acestor transformări aliajul IV după răcire se va compune din perlită, cementită şi ledeburită (fig. 19). Trebue să nu uităm că la răcire ledeburita se transformă şi că la o temperatură normală ea este formată din cementită şi perlită.

La răcirea unui aliaj din grupa V cu un conţinut de 4,3⁰/₀ carbon aliajul lichid se solidifică la o temperatură în punctul G (1130°C), formând un amestec eutectic (ledeburita). La o temperatură de 723°C, (punctul b) austenita ce intră în compoziţia acestui eutectic se va transforma în perlită. In felul acesta, sub punctul l aliajul va fi format din eutectic (ledeburită) compus din perlită şi cementită (fig. 16).

Aliajele cu un conţinut de carbon dela 4,3⁰/₀ până la 6,67⁰/₀. Dacă se ia un aliaj lichid din grupa VI şi se urmăreşte solidificarea lui, se constată că la o răcire până la temperatura d (fig. 16) aliajul va rămâne lichid. In punctul d va începe să se degaje din el cemen-

tita. Deoarece cementita conţine 6,67% carbon, aliajul lichid rămas în timpul răcirii va pierde neîncetat carbon. Concentraţia sa la o temperatură anumită va fi definită de punctul de intersecţie al liniei *CD* cu o linie orizontală, dusă de pildă prin punctul *e* corespunzător la temperatura *T*.

In punctul d_1 soluţia lichidă rămasă, având o concentraţie de 4,3%, se va solidifica, formând un amestec eutectic (ledeburita) şi aliajul va fi compus din cementită şi ledeburită.

In timpul răcirii vor avea loc alte transformări, iar la temperatura din punctul d_2 austenita ce intră în compoziţia ledeburitei se va transforma în perlită. Prin urmare, aliajul va fi format complet din cementită (fig. 20). Aliajele cu un conţinut de carbon până la 1,7% se numesc obişnuit oţel, iar cu mai mult de 1,7% fontă.

La o răcire foarte înceată a aliajelor care conţin o cantitate mare de carbon (fontă), în loc de cementită se degajă carbon sub formă de grafit. Fonta în care există mult grafit se numeşte fontă cenuşie, în timp ce fonta care-şi păstrează cementita se numeşte fontă albă. In cazul răciri foarte încete întreaga diagramă ia un alt aspect decât s'a arătat în fig. 16.

La încălzirea aliajelor se vor produce aceleaşi transformări, însă în direcţia opusă. Pentru a se explica mai bine aceasta, se va urmări încălzirea câtorva aliaje.

Dacă se ia un oţel de 0,5% carbon, compus la temperatura obişnuită din ferită şi perlită şi se încălzeşte, se constată că până la linia *PK* (fig. 16) nu se va produce nici o transformare în oţel. In punctul a_3 perlita se va transforma în austenită (cu o concentraţie de 0,83% carbon). La o continuare a ridicării temperaturii ferita se va descompune treptat, ceeace va provoca scăderea carbonului în austenită.

In temperatura corespunzătoare punctului a_2 întreaga cantitate de ferită se va transforma într'o soluţie solidă, care rămâne neschimbată până în punctul a_1. In punctul a_1 soluţia solidă va începe să se topească şi se va transforma complet în soluţie lichidă în punctul *a*. Dacă acest oţel va fi din nou supus unei răciri lente, din nou se va obţine ferită şi perlită.

Se ia un alt oţel, cu 0,83% carbon, şi se încălzeşte. In starea iniţială acest oţel va fi format din perlită. Până la punctul *S* nu va avea loc nici o transformare, însă în punctul *S* întreaga cantitate de perlită se va transforma în austenită, în care nu se întâmplă nici un fel de transformare până la punctul b_1. In punctul b_1 austenita începe să se topească şi se va transforma definitiv în soluţie lichidă în punctul *b*.

Insfârşit, încălzind un oţel cu un conţinut de 1,25% carbon, deasemeni nu se observă nici un fel de schimbare până la linia eutec-

tică. In punctul c_3 perlita se transformă în austenită cu o concentrație de 0,83% carbon. La continuarea ridicării temperaturii se va dizolva cementita, ceeace va provoca mărirea conținutului de carbon într'o soluție solidă. In punctul c_2 întreaga cantitate de cementită va trece în soluție solidă, care în acest timp va conține 1,25% carbon. In punctul c_1 va începe să se topească, iar în punctul c se va transforma definitiv în aliaj lichid.

9. Punctele critice ale fierului și oțelului

Știm că punctele de pe diagrama de echilibru reprezintă un loc geometric al temperaturilor critice. In timpul răcirii sau a încălzirii, un fier pur, are patru puncte critice. Punctele critice din cursul răcirii se deosebesc de punctele critice din cursul încălzirii, întrucât unele puncte critice din timpul încălzirii se află ceva mai sus.

Viteza de răcire (răcirea în cuptor, în aer, în ulei sau în apă) influențează mult asupra poziției punctelor critice. Deobicei punctele critice se definesc la o răcire lentă, deși pentru aceasta ne folosim adesea de metoda călirii.

In fig. 21 este prezentată curba răcirii (AB) și curba încălzirii (CD) pentru fierul pur. Pe axa ordonatelor sunt înscrise temperaturile, iar pe axa absciselor — timpul.

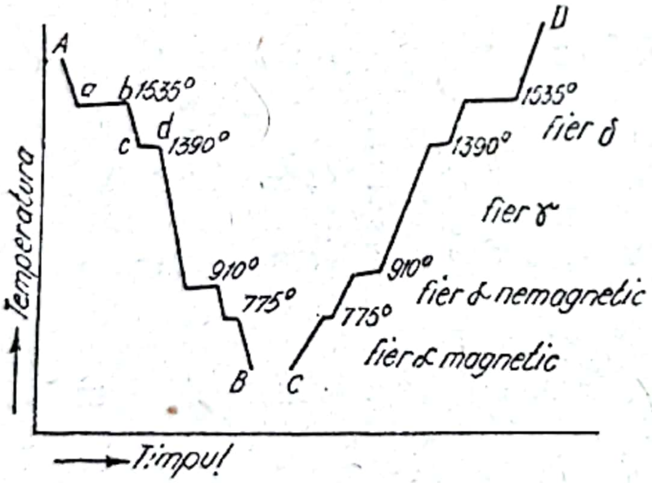


Fig. 21. Curbele de răcire și de încălzire pentru fierul pur.

Prima treaptă de temperatură (linia ab) corespunde transformării fierului din starea lichidă în starea solidă (1 535°C). La această temperatură se formează fierul δ. După această oprire curba se coboară treptat până la linia cd (1 390°C), care corespunde trecerii fierului δ în fier γ. A treia treaptă (910°) corespunde trecerii fierului γ în fier α nemagnetic. La 775°C), fierul α nemagnetic devine magnetic, ceeace se exprimă prin înclinarea curbei de răcire.

Mai înainte se presupunea, că fierul α magnetic este o modificare independentă a fierului și i se atribuia o notație specială (fier β), dar în prezent s'a stabilit, că fierul α și fierul β au aceeași rețea de cristale și se deosebesc numai prin proprietățile magnetice.

Curba de încălzire are următoarele trepte:

La temperatura de 775°C fierul α magnetic trece în fier α nemagnetic;
la temperatura de 910°C fierul α nemagnetic trece în fier γ:
la temperatura de 1 390°C fierul γ trece în fier δ;
la temperatura de 1 535°C fierul δ se topește.

In felul acesta diferitele modificări ale fierului există în anumite intervale de temperaturi.

La răcire		*La încălzire*	
fier δ . ;	1 535 ... 1 390 °C	fier α-magnetic până la . . .	775 °C
fier γ	1 390 ... 910 °C	fier α-nemagnetic . .	775 ... 910 °C
fier α-nemagnetic . .	910 ... 775 °C	fier γ	910 ... 1 390 °C
fier α-magnetic sub	775 °C	fier δ	1 390 ... 1 535 °C

Spre a deosebi punctele critice la încălzire şi la răcire, la notaţia lor (*A*) se adaugă literele *c* şi *r* cu cifrele 1, 2, 3 şi 4 (fig. 21).

Oţelul mai are un punct critic A_1, care corespunde cu descompunerea austenitei în perlită.

Dăm mai jos notaţiile punctelor critice ale oţelului;

La încălzire:

1. Ac_1 — temperatura la care perlita trece în soluţie solidă cu o concentraţie de 0,83% carbon;
2. Ac_2 — temperatura la care fierul α magnetic devine nemagnetic;
3. Ac_3 — temperatura transformării definitive a feritei (fier α) în soluţie solidă (fier γ);
4. Ac_4 — temperatura de trecere a fierului γ în fier δ;
5. Ac grade — temperatura descompunerii definitive a cementitei în soluţie solidă.

La răcire:

1. Ar_4 — temperatura de trecere a fierului δ în fier γ;
2. Ar_3 — temperatura la care ferita începe să se degajeze din soluţia solidă;
3. Ar grade — temperatura la care cementita începe să se degajeze din soluţia solidă;
4. Ar_2 — temperatura la care fierul α nemagnetic devine magnetic;
5. Ar_1 — temperatura de transformare a soluţiei solide cu o concentraţie de 0,83% carbon în perlită.

Punctele Ac_1 se află pe linia *PK* (fig. 16), punctele Ac grade — pe linia *SE* şi punctele Ac_3 — pe linia *SG*.

Asupra poziţiei punctelor critice ale oţelului au o mare influenţă amestecurile speciale.

Punctele Ac_1 şi Ar_1 se numesc puncte critice inferioare, iar Ac_3, Ac grade, Ar_3 şi Ar grade — se numesc puncte critice superioare.

Punctele critice Ac_1 şi Ac_3, foarte importante pentru tratamentul termic, au fost descoperite de învăţatul rus D. C. Cernov. Descoperirea acestor puncte a pus bazele studierii ştiinţifice a proceselor care se petrec în metale. Cât de genial a fost D. C. Cernov se poate vedea din faptul că el şi-a făcut descoperirile pe bază de cercetări, făcute fără nici un aparat.

CAPITOLUL II

DEFECTELE OŢELULUI ŞI CONTROLUL TURNĂRII

Oţelul topit se toarnă în forme de oţel sau de fontă.

Turnarea se face pe sus, sau pe jos, cu ajutorul unui sifon. Aceste forme se numesc lingotiere, iar oţelul solidificat în ele poartă denumirea de lingou. Lingourile pot avea secţiunea rotundă, pătrată, dreptunghiulară, octogonală şi hexagonală (fig. 22). Secţiunea rotundă se utilizează foarte rar întrucât această formă contribue la formarea crăpăturilor pe suprafaţa lingoului. Secţiunea rotundă se întrebuinţează numai în cazul turnării lingourilor de dimensiuni mici.

Oţelul turnat în formă de lingou se numeşte oţel brut. Deşi în practică lingoul nu se utilizează ca atare, totuşi este foarte important să cunoaştem acele defecte care se pot naşte în oţel după solidificare şi care trec într'un fel oarecare în piesele prelucrate. Aceste defecte ale oţelului cauzează uneori rebutarea pieselor la tratamentul termic sau duc la distrugerea neaşteptată a pieselor în timpul funcţionării lor.

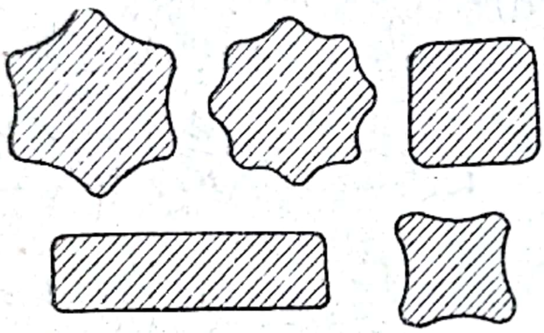


Fig. 22. Diferite secţiuni ale lingoului.

Neajunsurile sau defectele oţelului pot fi clasate în următoarele grupe: retaşuri, crăpături, pete şi solzi, distribuirea neomogenă a diferitelor segregaţii şi incluziuni de corpuri străine.

10. Retasuri

Retasuri şi porozităţi. Toate metalele, afară de cositor şi bismut, îşi micşorează volumul la răcire. Acest fenomen dă naştere unei serii de defecte în timpul turnării oţelurilor.

A. S. Lavrov şi N. V. Colocuţchi au explicat în anul 1866 cauzele formării retasurilor şi suflurilor.

Oţelul topit, venind în contact cu pereţii reci ai lingotierei, se întăreşte sub forma unei cruste, care este formată din cristale mici aşezate în mod diferit. Crusta formată e mai groasă în partea de jos, întrucât în primul rând oţelul umple partea inferioară a lingotierei, iar în al doilea rând, pereţii acesteia, fiind groşi în partea de jos, contribue la o răcire mai rapidă a oţelului. Cu toate că şi în partea superioară se formează un strat întărit, totuşi el nu atinge grosimi mari, deoarece răcirea se produce mai încet în partea superioară a lingoului decât în cea inferioară.

Deoarece solidificarea este însoţită şi de o contracţie de volum, între oţel şi pereţii lingotierei se formează un strat de aer care reduce

viteza schimbului de căldură a lingoului. Ulterior dela această crustă încep să se formeze şi să crească cristalele. Aceste cristale se întind în interiorul oţelului lichid perpendicular pe pereţii lingotierei. Ele se numesc cristale columnare. Paralel cu creşterea numărului lor, în tot volumul oţelului lichid se formează cristale care se depun.

Intrucât formarea cristalelor este însoţită de o contracţie a volumului, în partea superioară a lingoului sub stratul solidificat se formează un gol.

In fig. 23 se arată schema formării unui lingou, elaborată de D. C. Cernov. Acest gol sau retasură poate ajunge uneori aproape până la fund, ceeace constitue un mare defect deoarece, cu cât retasura este mai lungă, cu atât va fi necesar să se îndepărteze o parte mai mare a lingoului. Există mai multe metode de a reduce lungimea retasurilor, dar până în prezent, nu s'a putut ajunge la o evitare totală a lor.

Retasurile pot fi scoase în afara lingotierei într'un corp suplimentar în prelungirea lingoului, numit maselotă. Acest corp este format dintr'un material refrectar, ceeace face ca oţelul să rămână în stare lichidă un timp mai îndelungat şi prin aceasta să micşoreze lungimea retasurii. La micşorarea lungimii retasurii contribue deasemenea pereţii groşi din partea inferioară a lingotierei, forma mai largă a lingoului în partea de sus, cum şi turnarea oţelului de sus în jos.

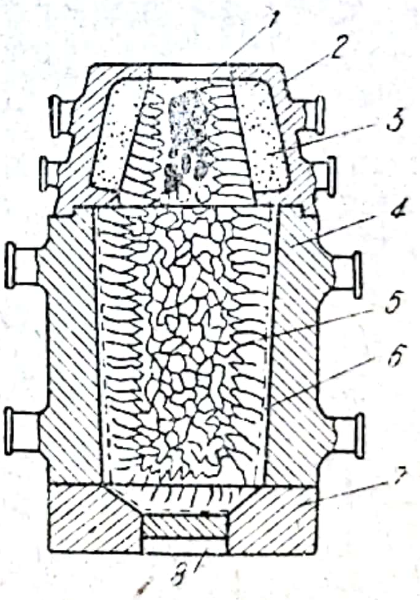


Fig. 23. Schema solidificării oţelului în lingotieră cu maselotă.

1 — retasură; *2* — maselota; *3* — căptuşeala refractară; *4* — lingotieră; *5* — cristale columnare; *6* — crustă din cristate; *7* — fund; *8* — dop.

Problema retasurii are o mare importanţă în metalurgie, noi însă ne vom limita la expunerea de mai sus.

In timpul soldificării oţelului, în partea centrală a lingoului şi în vecinătatea retasurilor se formează goluri mici, invizibile pentru ochiul liber, datorită cărora oţelul devine poros. Această porozitate se datoreşte deasemenea contracţiei şi se formează în cazul când oţelul se solidifică înainte de a completa toate golurile. Dacă forjarea sau laminarea oţelului se fac la temperaturi ridicate şi sunt însoţite de o presare a lingoului, aceşti pori dispar prin sudură; în caz contrar ei pot da naştere la crăpături.

Sufluri. Inafară de retasuri, în lingouri mai pot lua naştere goluri formate din cauza gazelor conţinute de oţel. Oţelul în stare lichidă conţine o cantitate mare de gaze, care ajung în lingou pe diferite căi. In timpul fabricării oţelurilor în convertisoarele Bessemer, în cuptoarele Martin sau în cuptoarele electrice, oţelul topit vine în contact cu gazele care se disolvă în el. Gazele din metale pot lua naştere şi din pro-

cesele chimice care au loc în masa metalului topit, cum şi din acţiunea chimică a vaporilor de apă (care se află în gazele cuptoarelor) asupra metalului topit (vaporii de apă ajunşi în cuptor odată cu aerul atmosferic vin în contact cu metalul topit şi, disociindu-se în elemente, cedează hidrogenul metalului).

In timpul răcirii oţelului, gazele încep să se elimine sub formă de bule. O parte din bule se ridică în sus mărind retasura, iar altă parte rămâne în interiorul lingoului.

Inafară de cauzele arătate mai sus, gazele pot lua naştere în metale şi în următorul fel: picăturile sub formă de stropi, căzând în timpul turnării pe pereţii lingotierei, se oxidează sub influenţa aerului. După umplerea lingotierei, carbonul din metalul topit intră în combinaţie chimică cu suprafaţa oxidată şi formează gaze (oxid de carbon) care rămân în oţel sub formă de bule.

O parte din sufluri ajung la suprafaţa lingoului unde se oxidează, iar altă parte rămâne în interiorul lingoului. Suflurile interioare ca şi porozitatea de retasură pot dispărea prin sudură în timpul forjării şi laminării, cele exterioare însă nu se sudează din cauza pereţilor lor oxidaţi. In acest din urmă caz, produsele laminate au la suprafaţa lor fisuri mici.

O cantitate mică de aluminiu, adăugată la oţelul turnat, reduce numărul suflurilor formate în lingouri. Aluminiul însă înrăutăţeşte calitatea oţelului, deoarece combinându-se cu oxigenul din metal dă naştere la impurităţi.

11. Crăpăturile (Fisurile)

In lingouri se formează adeseori crăpături. Acestea se datoresc mai multor cauze:

1. Bavurile care se formează în golul *B* dintre lingotieră şi maselotă (fig. 24) dau naştere crăpăturilor transversale *C*, deoarece lin-

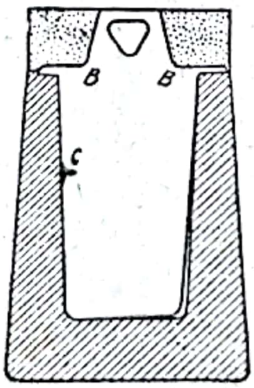


Fig. 24. Formarea crăpăturilor transversale.

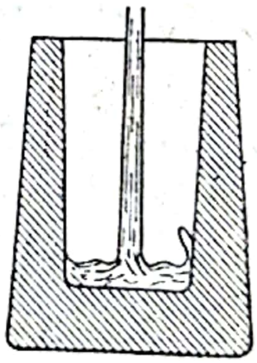


Fig. 25. Formarea stratului oxidat.

goul, rămânând suspendat pe bavuri, rupe prin greutatea lui coaja formată.

2. In timpul turnării pe sus, oţelul stropind pereţii lingotierei, se solidifică sub formă de crustă compusă din picături oxidate. Uneori această crustă se disolvă formând gaze, dar de cele mai multe ori ea se strânge şi pătrunde în interiorul lingoului. Deoarece acest strat este acoperit de o pătură de oxid, el nu se sudează cu oţelul în timpul forjării sau laminării, ci se îndeasă în metal, dând naştere crăpăturilor.

Defectele exterioare ale oţelului ca: băşici, crăpături, straturi oxidate, trebue să fie îndepărtate de pe suprafaţa lingourilor. In caz contrar ele vor provoca în timpul forjării sau laminării crăpături mai adânci. In acest scop suprafeţele lingourilor sau se strunjesc sau se curăţă, în locurile cu defecte, cu ajutorul dălţii.

12. Repartizarea neuniformă a elementelor
(Segregaţia)

Segregaţia zonală. Se ştie că oţelurile carbon conţin, înafară de carbon, şi alte elemente ca: mangan, siliciu, fosfor şi sulf. Acestea sunt repartizate în mod uniform în oţelul topit, însă în timpul răcirii începe a se solidifica mai întâi oţelul aproape liber de adausuri, în timp ce metalul rămas se îmbogăţeşte de adausuri. La sfârşit se solidifică metalul de sub retasura de contracţie. Prin urmare în acest loc vom avea un conţinut mai ridicat de adausuri în comparaţie cu restul masei topite (fig. 23).

Această repartizare neuniformă a elementelor componente se numeşte segregaţie sau licuaţie. Ea a fost observată şi explicată de A. S. Lavrov şi N. K. Calacuţchii. Carbonul, sulful şi fosforul se separă mai uşor, adică se concentrează sub retasură, în timp ce manganul şi siliciul acţionează în mod contrariu, micşorând chiar capacitatea de segregaţie a primelor trei elemente.

După solidificarea lingoului, carbonul tinde să-şi echilibreze repartizarea prin difuzie (trecerea din locurile bogate în carbon în părţi mai puţin bogate) însă aceasta influenţează prea puţin zona de segregaţie.

Segregaţia este un mare neajuns al oţelului; dacă segregaţia ajunge în piese (fig 26), ea poate da naştere la distrugerea neaşteptată a pieselor în timpul funcţionării lor.

Ruperea este provocată de influenţa vătămătoare pe care o au sulful şi fosforul asupra oţelului. Această acţiune este cu atât mai mare, cu cât conţinutul acestor elemente în zona de segregaţie este mai mare.

Zona de segregaţie are o influenţă foarte mare asupra oţelurilor aliate de calitate superioară.

Pentru a fi siguri că în piesă nu rămâne zona cu conţinut mare de impurităţi, după forjare sau laminare, se taie din lingouri cel puţin 16%, iar în cazul oţelurilor de calitate circa 18 ... 20%.

Temperatura oţelului in timpul turnării influenţează asupra zonei de segregaţie. Cu cât oţelul este mai rece, cu atât zona de segregaţie

este mai mică. Aluminiul adăugat în oţel în cantitate mică micşorează zona de segregaţie, dar măreşte retasura.

Segregaţia dendritică. La răcirea oţelului lichid, se formează dendrite. In partea exterioară a lingoului, dendritele se aşează astfel că axele principale merg perpendicular cu peretele lingotierei, iar în interior se aşează după direcţii diferite (fig. 27).

Această aşezare a dendritelor se explică prin condiţiile de răcire. Partea exterioară se răceşte mai repede şi pierderea căldurii se face perpendicular cu suprafaţa de răcire, pe când în partea inferioară, cădura se pierde în mod diferit, ceeace provoacă orientarea diferită a axelor.

Deoarece la răcirea oţelului lichid, la început se formează cristalele cu conţinut scăzut de carbon, axele dendritelor

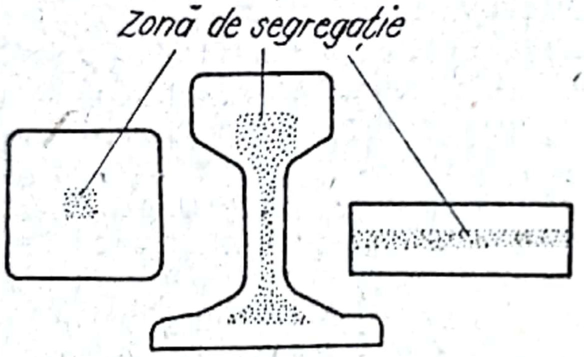


Fig. 26. Zona de segregaţie, observată în piese.

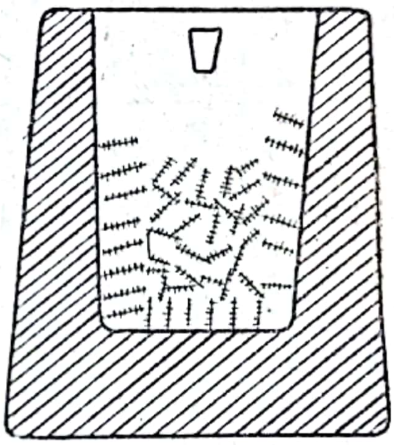


Fig. 27. Aşezarea dendritelor în lingou.

conţin mai puţin carbon decât soluţia lichidă rămasă (vezi diagrama fier-carbon). Oţelul lichid care se găseşte între axele dentritelor trece ultimul în stare solidă şi din această cauză conţine cantitatea cea mai mare de carbon. Acestea se referă şi la alte amestecuri. Astfel, în axele dendritelor şi în spaţiile interaxiale, concentraţia carbonului şi impurităţilor este aceeaşi. Acest fenomen poartă denumirea de segregaţie dendritică (licuaţie).

In timpul prelucrării mecanice la cald (forjare, laminare), dendritele se deformează şi axele lor se întind, dar neuniformitatea iniţială a compoziţiei chimice se păstrează aproape complet. O segregaţie dendritică foarte importantă se întâlneşte la unele oţeluri aliate. In fig. 28 se dă microfotografia oţelului cu crom-nichel. Locurile de culoare deschisă reprezintă axele întinse ale dendritelor, iar cele de culoare închisă, spaţiile interaxiale.

Rămânerea structurii dendritice în oţel nu este de dorit, deoarece, proprietăţile mecanice ale acestui oţel în direcţia longitudinală şi transversală se vor deosebi foarte mult.

13. Fulgii şi ruptura sinuoasă a oţelului

Un mare neajuns pentru uzinele care fabrică unele oţeluri speciale, îl constitue fulgii. Aceştia se observă în spărtura oţelului, sub formă de pete albe (fig. 29) şi sunt nişte crăpături microscopice. Cu privire la formarea fulgilor, există foarte multe păreri, dar majoritatea cercetătorilor au ajuns la concluzia că ei sunt provocaţi de prezenţa în oţel a porţiunilor defecte, în care, sub acţiunea tensiunilor ivite în timpul tratamentului, se formează crăpături mici intercristaline, alungite. Aceste crăpături scad mult proprietăţile mecanice ale oţelului şi pot duce la ruperea pieselor în timpul funcţionării lor.

Mulţi specialişti explică formarea fulgilor prin fenomenul de segregaţie al impurităţilor şi al gazelor în lingouri, la răcirea lor în lingotiere. De exemplu Prof. A. L. Baboşin leagă prezenţa porţiunilor defecte de segregaţia dendritică. Oţelul cu segregaţia dendritică foarte desvoltată, este predispus la formarea fulgilor şi din această cauză trebue încălzit şi răcit foarte atent şi încet. Aceasta este provocată de faptul că transformarea fierului — α în fier γ — în timpul încălzirii sau a fierului — γ în fier α — în timpul răcirii în axele şi spaţiile interaxiale, nu se face în acelaşi timp, deoarece axele şi spaţiile interaxiale au conţinuturi diferite de carbon şi impurităţi.

Datorită faptului că aceste transformări sunt însoţite de schimbarea de volum, la limita între axe şi spaţiile interaxiale se nasc tensiuni care provoacă crăpături sub formă de fulgi.

Unii specialişti leagă formarea fulgilor numai de hidrogen, care separându-se în timpul răcirii, creează o presiune mare şi provoacă formarea crăpăturilor.

De foarte multe ori în epruvete de oţel laminat sau forjat, ruptura are un aspect special, în care oţelul pare împărţit în straturi separate. In fig. 30 este reprezentată schematic această ruptură cunoscută sub denumirea de sinuoasă (solzoasă). Nici natura formării rupturii sinuoase nu este stabilită precis. Se ştie doar că asupra gradului de sinuozitate are mare influenţă compoziţia chimică a oţelului. De exemplu oţelul cu cromnichel poate avea, în aceleaşi condiţii, un grad de sinuozitate mai mare decât oţelul carbon obişnuit.

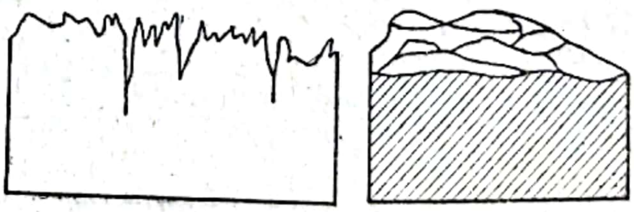


Fig. 30. Reprezentarea schematică a rupturii sinuoase.

După părerea unor cercetători, natura sinuozităţii se explică în special prin incluziuni străine (sulfuri, sguri), gaze şi goluri, care în timpul tratamentului la cald se întind în direcţia de laminare. Alţi cercetători sunt de părere că structura sinoasă a oţelului se datoreşte fosforului, segregaţiei impurităţilor, dimensiunilor dendritelor, laminării, etc.

Mai mulţi dintre factorii arătaţi mai sus creează împreună condiţii favorabile pentru apariţia acestui defect al oţelului.

Sinuozitatea influenţează mai înainte de toate asupra proprietăţilor mecanice. Se ştie că proprietăţile mecanice ale epruvetelor, tăiate după trei direcţii de laminare (longitudinal, transversal şi perpendicular) au valori diferite. Proprietăţile mecanice cele mai bune rezultă la epruvetele tăiate în direcţia longitudinală, iar cele mai rele, la cele tăiate în direcţia perpendiculară pe suprafaţa de laminare. Totuşi diferenţa între proprietăţile mecanice atinge valori maxime atunci când oţelul prezintă ruptură sinuoasă (fig. 31).

Comparând epruvetele longitudinale cu spărtură sinuoasă cu cele cu spărtură nesinuoasă, se observă că epruvetele cu spărtura sinuoasă au rezistenţa mai ridicată. Aceasta se explică prin faptul că la acest oţel, forţa necesară pentru ruperea epruvetei este mai mare decât cea pentru oţelul cu structura normală, deoarece crăpăturile ce apar la ruperea epruvetei, pe măsură ce se răspândesc, întâmpină rezistenţe transversale care le abat dela direcţia iniţială. In acest caz, crăpătura trebue să se formeze în alt loc şi se ştie bine că este mult mai greu să se formeze o crăpătură din nou, decât să se prelungească una existentă.

Aceasta nu înseamnă că spărtura sinuoasă este utilă, deoarece în acest caz în oţel se formează foarte uşor crăpături în direcţia longitudinală. De exemplu, sinuozitatea în oţelul destinat fabricării sculelor ce lucrează la presiune axială are o acţiune foarte vătămătoare, deoarece favorizează exfolierea (despicarea) oţelului în direcţia longitudinală.

Fără să ţinem seama de faptul că problema relativă la natura fulgilor şi rupturi sinuoase nu este încă precis determinată, trebue să se spună că lupta cu aceste neajunsuri trebue dusă chiar în procesul de topire şi turnare a oţelului, deoarece oţelul cu defectele arătate mai sus nu poate fi îndreptat prin tratament termic. Călirea poate să mascheze prezenţa sinuozităţii, dar acest oţel trebue supus din nou revenirii la temperatura înaltă, după care sinuozitatea apare în aspectul ei iniţial.

14. Incluziuni nemetalice

Incluziunile străine sau nemetalice ale oţelului, sub formă de zguri şi materiale refractare, scad foarte mult calitatea metalului. Ele provoacă de multe ori ruperea pieselor în timpul lucrului şi constitue una din cauzele de rebut în timpul călirii, deoarece favorizează formarea crăpăturilor.

In fig. 32, se dă fotografia microstructurii oţelului cu incluziuni de zgură.

Incluziunile de zgură rămân în oţel în timpul turnării greşite. Ţinerea oţelului un anumit timp în oala de turnare înainte de turnarea

în lingotiere, favorizează îndepărtarea incluziunilor de zgură ce se ridică treptat la suprafaţă.

Incluziunile sub formă de materiale refractare intră în oţel în diferitele perioade de turnare a oţelului. Incluziunile nemetalice sunt formate din bucăţi de cărămidă refractară, etc. Pentru a evita pătrunderea lor în oţel, personalul de deservire trebue să lucreze corect şi curat.

Incluziunile observate la suprafaţa lingoului se curăţă cu ajutorul unei dălţi pneumatice.

15. Controlul oţelului după macrostructură

Pentru a nu înlătura o cantitate mare de oţel şi, odată cu aceasta, pentru a garanta oţelul de prezenţa diferitelor defecte, se aplică controlul macrostructurii. Prin macrostructură se înţelege structura metalului cercetată fără mărire sau cu mărire mică.

In timpul controlului macrostructurei, se cercetează porozitatea de contracţie, licuaţia zonală, golurile de la suprafaţă, crăpăturile şi alte defecte.

Pentru aceasta, se ia din baia de oţel un lingou şi se laminează într'un semifabricat de secţiune patrată sau rotundă. Din acest semifabricat se taie la cald partea superioară (retasura) iar apoi o şaibă care serveşte pentru controlul macrostructurii.

Câteodată pentru un studiu mai complet al calităţii oţelului, se mai taie suplimentar şaibe longitudinale, la care suprafaţa de cercetat coincide cu linia axială a semifabricatului (fig. 33). Alegerea locului de tăiere a acestor şaibe se face pe baza rezultatelor obţinute asupra încercărilor şaibelor transversale.

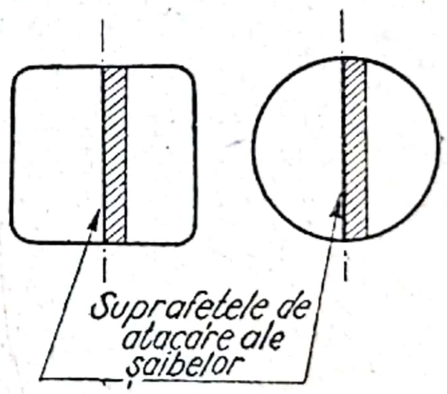


Fig. 33. Schema de tăiere a şaibelor pentru studiul macrostructurii.

Studiind macrostructura şaibelor din lingourile de control, se stabileşte procentul de metal îndepărtat pentru restul de lingouri luate din baia de topire.

Deobicei şaibele se separă de semifabricate, prin tăiere. In unele cazuri, se permite tăierea prin procedeul autogenic (piese forjate şi turnate de dimensiuni mari) sau tăierea şaibelor la cald cu ajutorul unui ferestrău circular (laminare), dar cu condiţia ca metalul în porţiunea tăiată să fie îndepărtat. Şaibele se separă foarte bine prin tăiere mecanică cu anozi. Astfel se permite separarea foarte rapidă a acestora şi practic nu se influenţează metalul.

Locul de tăiere al şaibelor este determinat de tendinţa de a se obţine o imagine cât mai completă a calităţii oţelului. In cazul pieselor forjate în formă cilindrică, cu diametrul până la 500 mm şi lungimea

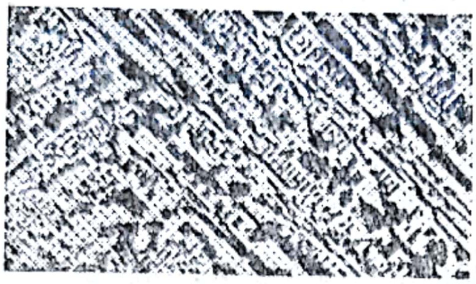


Fig. 19. Microstructura aliajului IV (perlita plus cementita).

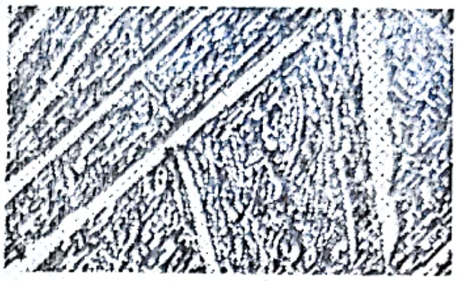


Fig. 20. Microstructura aliajului V (perlita plus cementita).

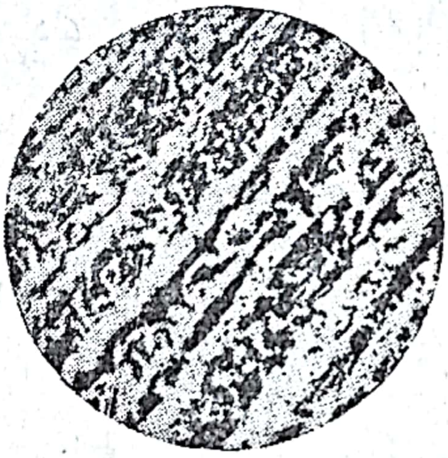


Fig. 28. Structura în dungi a oțelului laminat, provocată de segregația dendritică.

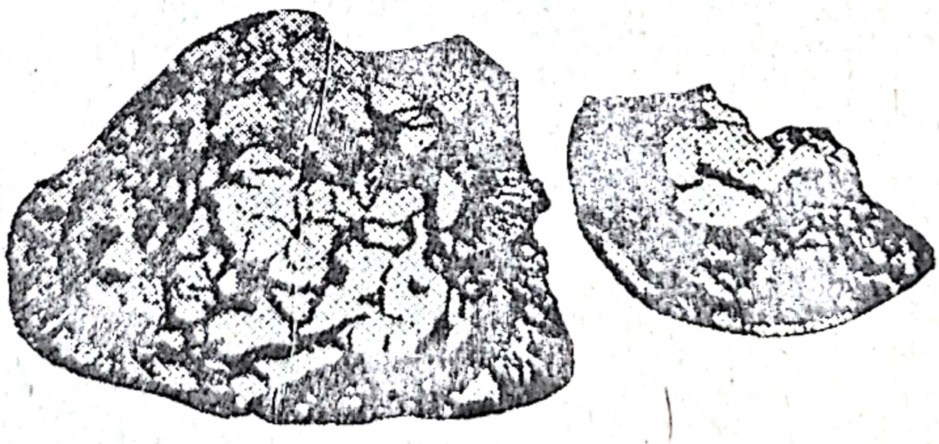


Fig. 29. Fulgi în oțel.

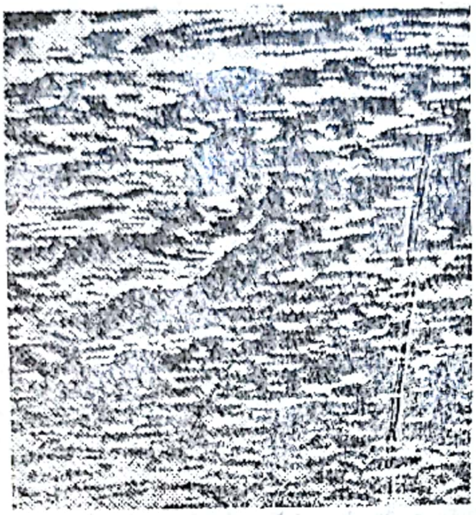


Fig. 31. Ruptura sinuoasă la oţel.

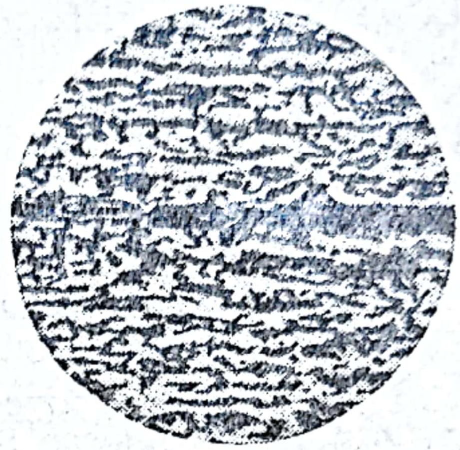


Fig. 32. Incluziuni de zgură, în oţel.

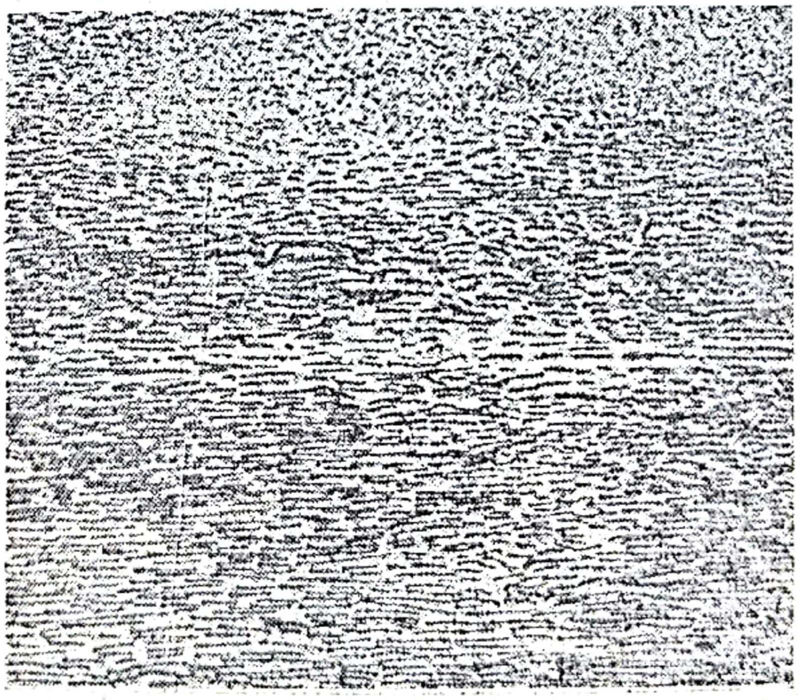


Fig. 34. Macrostructura oţelului laminat, cercetată după atacare cu acid picric.

peste 1 500 mm şaibele se iau în direcţie transversală din ambele capete ale piesei forjate.

Dacă piesele au lungimi mai mici, şaibele se iau dela un singur capăt care este mai apropiat de porozităţile retasurilor.

La piesele ştanţate şi la cele forjate de mică dimensiune se iau şaibele longitudinale. Suprafaţa lor trebue să redea clar structura metalului în locurile principale.

In timpul controlului materialului laminat, şaibele se taie în direcţie transversală. Grosimea lor nu trebue să fie mai mică de 20 mm.

După cercetarea lor se stabileşte procentual partea care trebue eliminată.

Suprafaţa şaibelor se prelucrează la maşini unelte, se polizează şi apoi se supune şlefuirii. Pentru îndepărtarea petelor grase, suprafaţa se şterge cu benzină. Pentru a pune în evidenţă defectele oţelului, şaibele se atacă în adâncime şi de pe ele se scot amprente pe sulf (proba Baumann).

Atacarea în adâncime se face cu ajutorul unui reactiv special alcătuit din 10 părţi acid sulfuric concentrat, 35 părţi acid clorhidric şi 25 părţi apă. Atacarea se face în soluţia încălzită până la temperatura de 60···70°C. Temperatura se menţine constantă. După atacare, şaibele se spală bine în apă fierbinte şi se usucă.

In tabela 2 se dă timpul de atacare al şaibelor cu acest reactiv, după diferite tratamente termice.

Afară de acest reactiv, se mai întrebuinţează, pentru atacare, acidul clorhidric sau acidul sulfuric.

Tabela 2

Durata de atacare a şaibelor metalografice

Denumirea materialului	Durata de atacare		
	După recoacere	După călire, cu revenire la temperatură înaltă	După călire, cu revenire la temperatură joasă.
Oţel carbon şi slab aliat	20 min	40 min	60 min
Oţel aliat mijlociu	30 „	50 „	70 „
Oţel înalt aliat	45 „	60 „	80 „

Pentru atacare, acidul clorhidric se dizolvă în apă (50%). Procedeul de atacare este acelaşi ce în primul caz.

Pentru atacare în soluţie de 25% acid sulfuric, şaibele se ţin în soluţie la temperatura de 60 °C timp de 2—2,5 ore în cazul oţelului carbon şi timp de 2,5—4 ore în cazul oţelului aliat. Dacă se întrebuinţează soluţia rece, durata de atacare creşte până la 10—20 ore.

Câteodată atacarea se repetă după şlefuirea iniţială a şaibei cu o hârtie fină de şlefuit.

Structura dentritică şi direcţia fibrelor în semifabricate forjate, laminate şi stanţate, se observă bine la atacare în soluţie apoasă de acid picric saturată la rece. Şaibele se introduc pentru 10—15 ore în soluţie, apoi se spală, se usucă şi se şlefuesc uşor cu o hârtie fină de şlefuit, pentru îndepărtarea petelor de culoare închisă de pe suprafaţă. Atacarea se repetă până la obţinerea unei macrostructuri distincte.

In fig. 34 se dă fotografia macrostructurii oţelului laminat, cercetată după atacare cu acid picric.

Amprentele pe sulf permit să se stabilească felul în care este distribuit sulful în oţel. Acest procedeu constă în aplicarea pe suprafaţa şaibei a unei hârtii fotografice, mate, cu bromură de argint, care a fost afundată 5—10 minute într'o soluţie apoasă de $5^0/_0$ acid sulfuric. Suprafaţa se prepară prin şlefuire brută; în unele cazuri ea se prelucrează pe maşini unelte. Degresarea se face cu ajutorul alcoolului sau benzinei. După 1—5 minute, hârtia se scoate, se spală în apa rece şi se introduce timp de 10 minute într'o soluţie de $10^0/_0$ hiposulfit. După fixare, hârtia se spală definitiv în apă rece timp de 10 minute şi se usucă.

In urma acţiunii sulfului supra argintului, se formează un precipitat de sulfură de argint, de culoare închisă. Dacă zona de segregaţie este îndepărtată complet, distribuţia porţiunilor (punctelor) de culoare închisă va fi uniformă.

In fig. 35 se dă amprenta Baumann a oţelului la care zona de licuaţie nu este îndepărtată complet.

Amprentele Baumann permit să se determine prezenţa zonelor de licuaţie şi a porozităţii axiale.

Câteodată amprentele Baumann prezintă culoarea închisă la marginile pieselor. Aceasta se explică prin faptul că la turnarea oţelului în lingotiere, straturile exterioare ale oţelului lichid se răcesc foarte repede; sulful nu are timp suficient să se separe în interior şi se separă sub formă de incluziuni mici şi dese, care provoacă întunecarea hârtiei cu bromură de argint.

CAPITOLUL III

PROPRIETĂŢILE MECANICE

16. Incercarea mecanică a metalelor şi aliajelor

Incercarea mecanică permite să se determine proprietăţile meanice ale materialelor. Prin proprietăţi mecanice se înţeleg însuşirile corpurilor solide de a opune rezistenţă forţelor exterioare care acţionează asupra lor. Acţiunea forţelor poate fi diferită: instantanee (dinamică) sau înceată (statică).

Proprietăţile mecanice ca: rezistenţa la rupere prin întindere, limita de proporţionalitate, limita de curgere, limita elastică, alungirea relativă, stricţiunea relativă a secţiunii transversale, rezistenţa la şocuri şi duritatea, caracterizează într'o foarte mare măsură calitatea oţelului în raport cu compoziţia lui chimică şi în general pot indica gradul de comportare al pieselor în mediul în care vor lucra.

Rezistenţa la rupere, limita de proporţionalitate, limita de curgere, limita de elasticitate şi duritatea caracterizează rezistenţa materialului; alungirea şi stricţiunea caracterizează plasticitatea, iar rezistenţa la şocuri caracterizează tenacitatea metalului.

Modificând compoziţia chimică a oţelului sau modul de prelucrare (procedeul de turnare, procedeul de prelucrare mecanică la cald, etc.) îi putem schimba în mare măsură şi proprietăţile mecanice.

Pentru a determina proprietăţile mecanice se confecţionează nişte epruvete (probe) din materialul propus pentru încercare; ele se încearcă până la distrugere (rupere).

Operaţiile se fac pe maşini de tracţiune sau pe maşini speciale. Epruvetele pot avea secţiune rotundă sau dreptunghiulară. Pe aceste epruvete se fac crestături pentru a măsura alungirile după încercări.

Există o serie mare de sisteme de maşini pentru încercări la tracţiune. Cea mai larg utilizată este maşina construită de un inginer rus Gagarin, (presa lui Gagarin). Figura 36 prezintă schema unei maşini de tracţiune. Epruveta se prinde între bacurile *1* şi *2*. Bacul superior este legat de tijele *3, 4, 5* şi *6,* care se ridică prin acţionarea pistonului *7* care culisează în cilindrul *8*. Intrucât bacul *2* rămâne fix în tot timpul încercării epruvetei, aceasta din urmă se întinde în mod treptat şi continuu. Pentru a uşura fixarea epruvetei, maşina este prevăzută cu un mâner *9* care pune în mişcare pinionul conic *10* şi prin aceasta deplasează tija *11* şi bacul *2*. Cunoscând presiunea din cilindrul *8* şi secţiunea transversală a pistonului, se poate calcula forţa de tracţiune, care acţionează asupra epruvetei.

La întinderea epruvetei, lungimea ei iniţială l_0 se măreşte la l, creşterea lungimii Δl (Δ-delta) va fi:

$$\Delta l = l - l_0$$

Raportul între Δl şi lungimea iniţială se numeşte alungirea relativă.

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

Alungirea relativă (δ) exprimată în procente se calculează după următoarea formulă:

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \qquad (1)$$

In timpul încercării la tracţiune, în locul de rupere se produce o stricţiune a secţiunii transversale a epruvetei. Această stricţiune a secţiunii exprimată în procente se determină după următoarea formulă:

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \cdot 100 \qquad (2)$$

în care ψ = stricţiunea epruvetei în locul de rupere exprimată în procente;
F_0 = suprafaţa iniţială a secţiunii epruvetei în mm^2;
F = suprafaţa secţiunii epruvetei în locul de rupere în mm^2.

Dacă se întinde epruveta treptat, în secţiunea ei transversală vor lua naştere tensiuni interioare σ. Mărimea acestor tensiuni va fi în orişice moment egală cu forţa P (în kg) care produce întinderea, împărţită prin suprafaţa secţiunii transversale a epruvetei (în mm^2). Cu toate că secţiunea transversală a epruvetei se va micşora sub acţiunea forţei de întindere, deobicei pentru determinarea tensiunilor care iau naştere, se ţine seama de secţiunea iniţială F_0 a epruvetei. Tensiunea interioară se determină după următoarea formulă:

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \text{ kg./mm}^2.$$

Dacă forţa de întindere nu depăşeşte o valoare determinată, atunci după încetarea acţiunii ei asupra epruvetei, aceasta din urmă revine la dimensiunile ei iniţiale.

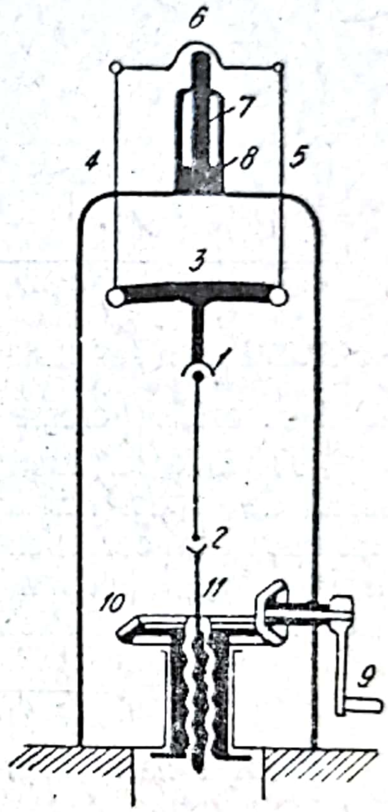


Fig. 36. Reprezentarea schematică a maşinii de tracţiune.

Proprietatea corpurilor de a-şi recăpăta dimensiunile iniţiale după înlăturarea forţelor care acţionează asupra lor, se numeşte elasticitatea materialului. Dacă forţa de întindere trece peste o anumită limită, epruveta poate rămâne deformată (alungită) chiar şi după încetarea acţiunii forţelor exterioare, rămânând cu o deformaţie permanentă. Tensiunea pe care a suportat-o epruveta până la apariţia deformaţiei permanente, se numeşte limită de elasticitate. Dat fiind că la calcularea tensiunilor trebue să avem aparate de mare precizie, se ia ca tensiune minimă admisă în calcule, forţa care naşte o deformaţie permanentă în valoare de 0,005% din lungimea iniţială a epruvetei. De exemplu, dacă la întinderea epruvetei cu un diametru $d = 10$ mm pentru o forţă de 6 280 kg va apărea o deformaţie permanentă de 0,005%, atunci vom avea:

$$\sigma = \frac{P}{F_0} = \frac{P}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4\ P}{3{,}14 \cdot 10^2} = \frac{4 \cdot 6\,280}{3{,}14 \cdot 10^2} = 80 \text{ kg/mm}^2$$

care reprezintă o limită elastică convenţională.

In majoritatea cazurilor în construcţiile de maşini sau de piese pentru maşini se admit eforturile care produc numai deformaţiile elastice.

Deobicei, maşinile pentru încercări de tracţiune sunt prevăzute cu un dispozitiv care înregistrează automat, sub formă de diagramă, raportul între efortul P şi alungirea Δl. In fig. 37 se arată o astfel de diagramă, obţinută la întindere.

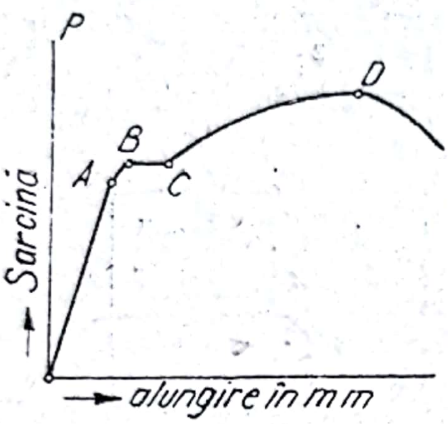


Fig. 37. Diagrama de întindere.

Pe axa ordonatelor se trece forţa (sarcina) P, iar pe axa absciselor — alungirea epruvetei în mm.

Pe diagramă sunt marcate punctele A, B, C, şi D.

Până la punctul A, epruveta se alungeşte foarte puţin, iar raportul între alungire şi sarcină se exprimă printr'o linie dreaptă, adică alungirea creşte proporţional cu sarcina. De exemplu, dacă sarcina se măreşte de două ori, va creşte de două ori şi alungirea.

Dat fiind că după punctul A linia dreaptă se curbează, iar raportul de proporţionalitate între alungire şi sarcină se desechilibrează tensiunea care corespunde punctului A şi care se raportează la unitatea de suprafaţă a secţiunii, poartă denumirea de limită de proporţionalitate şi se notază astfel:

$$\sigma_p = \frac{\text{Sarcina în kg}}{\text{suprafaţa secţiunii în mm}^2} \ (\text{kg/mm}^2) \qquad (3)$$

Intrucât determinarea limitei elastice cere mult timp, iar în cazul oţelului deformaţiile rămase după determinarea limitei de proporţionalitate sunt neînsemnate, în majoritatea cazurilor nu se determină limita de elasticitate şi încercarea se rezumă la determinarea limitei de proporţionalitate.

Incepând dela punctul B, pe diagrama întinderii apare o porţiune orizontală BC care caracterizează curgerea materialului.

In acest caz alungirea materialului se produce fără creşterea sarcinei, iar la unele materiale curgerea se produce chiar dacă sarcina scade. Tensiunea care corespunde cu momentul în care materialul începe să curgă (când apare porţiunea orizontală BC) împărţită prin suprafaţa iniţială a secţiunii (în mm²) se numeşte limită de curgere şi se notează astfel:

$$\sigma_c = \frac{\text{Sarcina în kg}}{\text{suprafaţa secţiunii în mm}^2} \ (\text{kg/mm}^2). \qquad (4)$$

Odată cu creşterea sarcinii (dincolo de punctul C), curgerea materialului scade. Alungirea însă creşte mai repede decât tensiunea şi

pe epruvetă apare o gâtuire (fig. 38), al cărei diametru scade treptat până când se produce ruperea epruvetei. La determinarea forţei de rupere, se împarte sarcina care a produs ruperea epruvetei prin suprafaţa iniţială a secţiunii transversale a epruvetei.

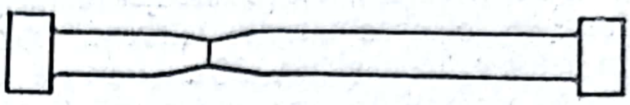


Fig. 38. Gâtuirea epruvetei.

Această forţă nu corespunde însă cu realitatea, întrucât secţiunea barei s'a micşorat considerabil. Se obişnueşte însă să se utilizeze astfel de calcule pentru uşurinţa cu care se pot face comparaţii între materiale.

Sarcina maximă în kg împărţită prin suprafaţa iniţială a secţiunii transversale a epruvetei (în mm²) se numeşte rezistenţa la rupere şi se exprimă prin următoarea formulă:

$$\sigma_r = \frac{\text{sarcina la rupere în kg}}{\text{suprafaţa secţiunii în mm}^2} \ (\text{kg/mm}^2). \qquad (5)$$

Să luăm un exemplu: să rupem pe o maşină de tracţiune o epruvetă din oţel carbon de diametru 20 mm cu o lungime de 200 mm. Sarcina P corespunzătoare limitei de proporţionalitate (punctul A de pe diagrama de întindere fig. 37) este egală cu 17584 kg. Sarcina P_1 care corespunde cu limita de curgere (punctul C) este egală cu 17 898 kg şi sarcina maximă, înainte de ruperea epruvetei, egală cu 25 748 kg. După rupere, lungimea epruvetei a ajuns la 250 mm, iar diametrul în secţiunea ruperii s'a redus la 15 mm.

Suprafaţa secţiunii înainte de rupere

$$F_0 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \times 20^2}{4} = 314 \text{ mm}^2$$

Suprafaţa secţiunii în locul ruperii epruvetei

$$F = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3{,}14 \times 15^2}{4} = 176{,}6 \text{ mm}^2$$

Inlocuind aceste valori în formulele (1), (2), (3), (4), şi (5) vom avea:

alungirea

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 = \frac{250 - 200}{200} \times 100 = 25\%;$$

gâtuirea la rupere (stricţiunea)

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F} \times 100 = \frac{314 - 176{,}6}{314} \times 100 = 43{,}8\%;$$

limita de proporţionalitate

$$\sigma_p = \frac{P}{F_0} = \frac{17\,584}{314} = 56 \text{ kg/mm}^2;$$

limita de curgere

$$\sigma_c = \frac{P_1}{F_0} = \frac{17\,898}{314} = 57 \text{ kg/mm}^2;$$

rezistenţa la rupere

$$\sigma_r = \frac{P_2}{F_0} = \frac{25\,748}{314} = 82 \text{ kg/mm}^2;$$

Adeseori materialele care rezistă bine la sarcini care cresc progresiv, nu rezistă în aceiaşi măsură la sarcini aplicate prin şoc.

Din această cauză, paralel cu încercările în timpul cărora sarcina creşte progresiv, se fac şi încercări la şoc.

Pentru încercarea rezistenţei materialelor la şocuri (la eforturi dinamice), se folosesc diferite feluri de epruvete. Cele mai utilizate sunt epruvetele Charpy (fig. 39 *a* şi *b*) şi epruveta Mesnager (fig. 39 *c*). Prin încercarea acestor epruvere simple putem determina cu o pre-

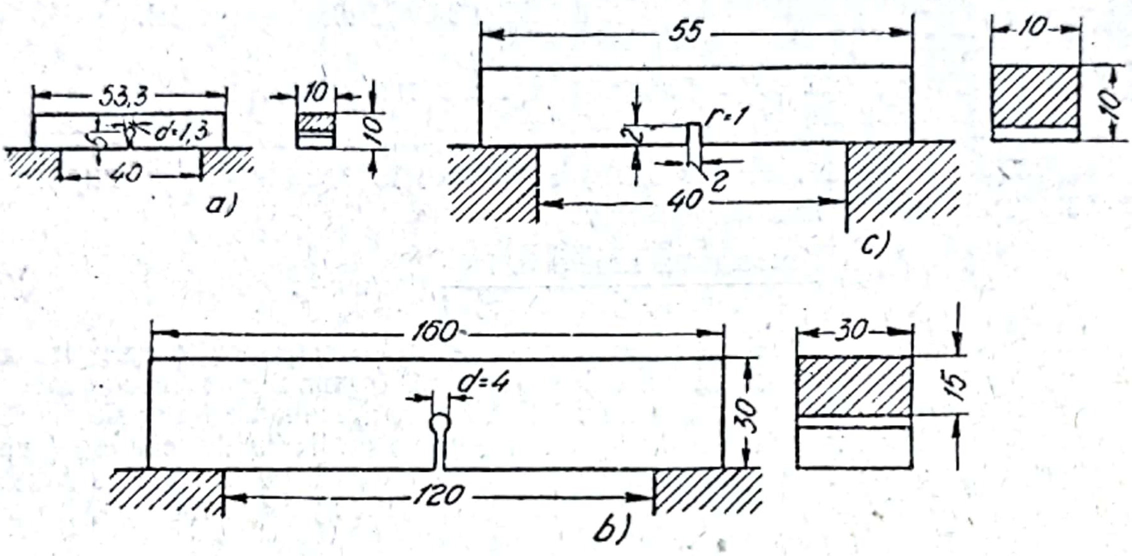


Fig. 39. Epruveta pentru încercarea materialului la şoc:
a — epruveta mică Charpy; *b* — epruveta mare Charpy; *c* — epruveta Mesnager.

cizie mare rezistenţa materialelor. Rezultatele reale ale încercărilor la şoc, depind în mare măsură de exactitatea cu care sunt executate epruvetele şi în special depind de exactitatea crestăturilor.

Incercarea epruvetelor crestate se face de obicei pe maşini speciale cu un berbec pendular. Există mai multe feluri de astfel de maşini, din care cea mai răspândită este prezentată de fig. 40.

Această maşină se compune dintr'un berbec prevăzut cu un disc greu, care pendulează în jurul axei orizontale. Acest berbec poate fi ridicat la o înălţime de 1—1,2 m şi fixat în această poziţie cu ajutorul unui clichet (limbă de fixare).

Dacă clichetul se ridică, discul va cădea şi muchia lui de oţel, va rupe epruveta aşezată pe cale de sprijin. Acest reazim pendular se poate îndepărta sau apropia, ceeace permite aşezarea epruvetelor de mărimi diferite. După ruperea epruvetei discul se ridică în sus în virtutea inerţiei.

Inălţimea până la care se ridică discul indică forţa vie care a rămas acumulată în disc după ruperea epruvetei. Lucrul mecanic *T*, consumat la ridicarea discului de greutate *P* kg la o înălţime anumită *A* (în metri), se consumă la ruperea epruvetei şi la ridicarea dis-

cului la o înălţime oarecare B. Să notăm cu T_1 lucrul mecanic consumat la ruperea epruvetei şi cu T_2 lucrul mecanic consumat la ridicarea discului după ruperea epruvetei. Atunci

$$T = P \cdot A \text{ kg m} \quad \text{şi}$$
$$T_2 = P \cdot B \text{ kg m}$$

De aici rezultă că:

$$T_1 = T - T_2 = PA - PB = P\,(A - B)$$

Cunoscând greutatea discului şi înălţimea la care a fost ridicat şi măsurând înălţimea la care a fost ridicat după ruperea epruvetei, este uşor să se găsească lucrul mecanic T, utilizat la ruperea epruvetei.

Impărţind acest lucru mecanic prin suprafaţa secţiunii epruvetei în locul crestăturii (în cm²) vom obţine valoarea lucrului mecanic pe 1 cm² de secţiune a epruvetei. Acest lucru mecanic exprimat în kgm/cm², caracterizează rezistenţa epruvetelor la eforturi dinamice (rezilienţa).

Pentru a stabili calitatea materialului după proprietăţile sale mecanice, trebue să cunoaştem felul în care s'au confecţionat epruvetele.

Proprietăţile mecanice ale epruvetelor depind în mare măsură de direcţia după care au fost decupate. Se utilizează epruvete tăiate din material în direcţia longitudinală sau transversală. Cele decupate în direcţia longitudinală a materialului au cele mai bune calităţi mecanice, întrucât fibrele oţelului (cristalele întinse) sunt dispuse pe direcţia axei epruvetei.

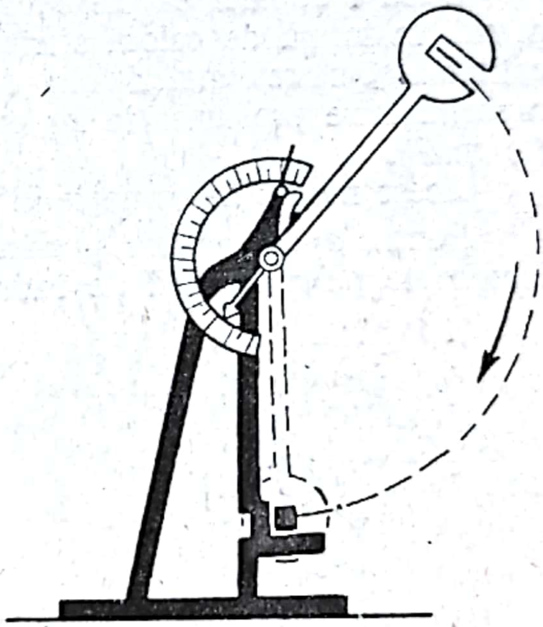


Fig. 40. Schema stativului pentru proba la lovire.

17. Incercarea durităţii

Prin duritatea unui corp se înţelege proprietatea de a opune o rezistenţă la pătrunderea altui corp în el.

In industrie cele mai răspândite metode de încercarea durităţii sunt metodele Brinell şi Rockwell.

Principiul încercării după Brinell constă în apăsarea unei bile (de 10,5, sau 2,5 mm diametru) din oţel extra tare pe suprafaţa materialului pe care-l încercăm, sub acţiunea unei sarcine date (de 3 000, 1 000, 500 sau 250 kg) care se menţine timp de 20—30 s. In cazul pieselor subţiri sau relativ moi, pentru a se evita perforarea lor, se utilizează bile cu diametrul mai mic şi se lucrează cu o sarcină mai mică.

In fig. 41, este arătată schema procedeului Brinell. In timpul funcţionării se închide ieşirea uleiului din cilindrul *1* şi astfel piesa (sau epruveta) aflată pe suportul *5* se presează cu ajutorul roţii de manevră *6* în direcţia bilei *4*. După aceasta, în cilindrul *1* se pompează ulei până ce presiunea din cilindrul *1* va ridica pistonul *3* cu greutăţile *2*.

In acest moment, bila apasă pe suprafaţa materialului de încercat cu un efort egal cu acela sub care se găseşte pistonul *3*. Manometrul arată presiunea bilei asupra piesei. In timpul încercării uleiul se pompează încet în cilindru *1*. După terminarea operaţiei supapa se deschide treptat pentru ca greutatea *2* să nu cadă brusc.

După îndepărtarea piesei, pe suprafaţa acesteia rămâne o amprentă în formă de calotă sferică de dimensiune anumită în funcţie de calitatea şi starea materialului de încercat. Duritatea se determină din raportul între presiune (în kg) şi dimensiunile amprentei lăsată de bilă (în mm^2).

Acest raport se numeşte cifra de duritate Brinell.

Pentru a nu măsura şi calcula de fiecare dată suprafaţa calotei imprimate pe materialul de încercat, s'au întocmit tabele speciale care fac parte din inventarul maşinei Brinell, cu ajutorul cărora putem citi direct duritatea materialului exprimată în cifra Brinell în funcţie de diametrul amprentei.

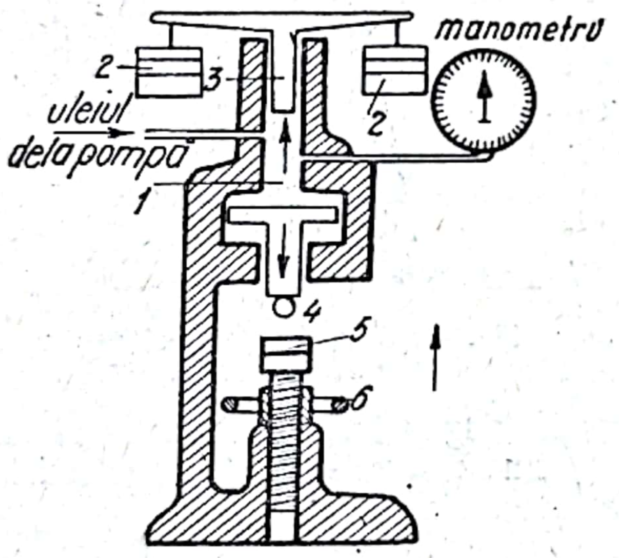


Fig. 41. Reprezentarea schematică a aparatului Brinell.

In anexa IV sunt trecute cifrele de duritate Brinell, obţinute cu o bilă de Ø 10 mm şi cu o sarcină de 3 000 kg.

Suprafaţa piesei, care se încearcă trebue să fie polizată şi apoi şlefuită bine cu hârtie fină de şmirghel.

Pentru a înlătura influenţa stratului decarburat, suprafaţa piesei trebue curăţată pe o adâncime suficientă. Măsurarea amprenetei se face cu o lentilă specială (comparator) care măreşte de 2—5 ori şi este prevăzută cu o scară de diviziuni.

Neajunsul mare al metodei Brinell este faptul că dă rezultate exacte numai până la cifra de duritate 540. In cazul durităţilor mai mari, bila începe să se turtească şi deaceea datele vor fi eronate în minus. Deobicei bila care cu timpul se uzează, se înlocueşte în mod periodic.

Metoda Brinell nu poate fi aplicată în cazul pieselor cu un strat de cementaţie subţire, pentrucă stratul cementat va fi străpuns şi

datele obţinute vor fi mai mici decât cele pe care le are în realitate suprafaţa piesei.

Deasemenea pe aparatul Brinell nu putem încerca duritatea pieselor subţiri, afară de cele arătate, metoda Brinell cere şi măsurarea diametrului amprentei, fapt care măreşte durata procesului de încercare.

Toate aceste neajunsuri se îndepărtează în cazul determinării durităţii după metoda Rockwell, care se utilizează în mod curent în ateliere.

Metoda Rockwell diferă de metoda Brinell prin faptul că în loc de suprafaţă, se măsoară, adâncimea amprentei.

In prezent uzinele U.R.S.S. fabrică durometre (fig. 42) care funcţionează după principiul Rockwell. Acest aparat permite determinarea durităţii la piese mici şi subţiri şi în acelaşi timp nu reclamă o pregătire minuţioasă a suprafeţei.

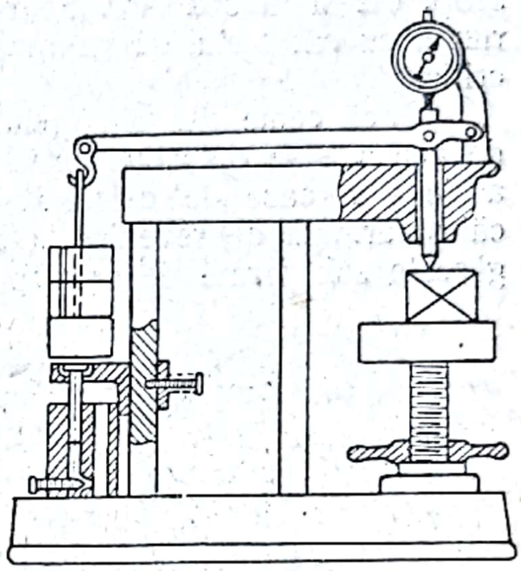


Fig. 4?. Reprezentarea schematică a dispozitivului pentru măsurarea durităţii.

Valorile durităţii exprimate în cifra Rockwell apar pe un cadran. Astfel se elimină operaţia anevoiasă de a măsura cu lupa diametrele amprentelor.

Un cadran serveşte în timpul încercărilor cu bila de oţel de diametru 1,6 mm, iar al doilea cadran arată cifrele de duritate în cazul când se lucrează cu un diamant conic. Cu ajutorul bilei se încearcă oţelurile moi, iar cu diamantul conic cele dure. Inainte de încercare, piesele se curăţă de sgură şi se şlefuesc cu o hârtie de şmirghel.

Există şi alte metode pentru încercarea durităţii însă ele nu au o utilizare largă şi practică şi deaceea nu vor fi descrise în această carte.

CAPITOLUL IV

RECOACEREA OŢELULUI

Procesul de încălzirea oţelului deasupra punctului Ac_1, urmată de răcirea înceată se numeşte recoacere. Deseori, încălzirea oţelului sub punctul Ac_1 se numeşte deasemenea recoacere, cu toate că ar fi mai corect să se numească revenire la temperatură ridicată. Există recoacere completă şi recoacere incompletă.

Recoacerea completă se numeşte recoacerea oţelului deasupra punctului critic superior (Ac_3 pentru oţel hipoeutectoid şi Ac_{ot} pentru oţel hipereutectoid).

Recoacerea incompletă se numeşte recoacerea în intervalul critic (între Ac_1 şi Ac_3).

Recoacerea completă sau justă a oţelului hipoeutectoid se face încălzind oţelul cu 30—50°C deasupra punctului critic superior. Această recoacere duce la o structură granulară fină, vizibilă atât la microscop, cât şi în spărtură. Spărtura va avea granule cu atât mai mărunte, cu cât oţelul se va răci mai repede la trecerea prin intervalul critic.

Dacă cementita din oţelul hipereutectoid are structura sub formă de ace sau se distribue sub formă de reţea, oţelul trebue forjat, iar acele şi reţeaua de cementită trebue sparte, sau oţelul se supune călirii urmată de revenire la temperatură ridicată. Dacă cementita se găseşte sub formă de granule, oţelul nu se supune recoacerii.

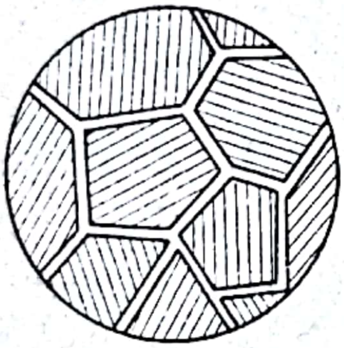


Fig. 43. Reprezentarea schematică a feritei şi perlitei.

Recoacerea cu supraîncălzire, adică cu încălzirea deasupra punctului critic superior, se aplică câteodată pentru obţinerea metalelor monocristaline.

Pentru a afla ce fenomene au loc în timpul recoacerei, se urmăreşte încălzirea oţelului hipoeutectoid, care este format din perlită şi ferită (fig. 43 şi fig. 44). La prima vedere se pare că după încălzirea şi răcirea acestui oţel nu are loc nici o transformare şi se obţine din nou perlita şi ferita. In realitate acest lucru nu se întâmplă, deoarece în timpul încălzirii oţelului are loc schimbarea mărimii granulelor.

La trecerea prin punctul Ac_1, în interiorul granulelor vechi se nasc granule noi (fig. 45, *a*), care încep să crească în timpul încălzirii.

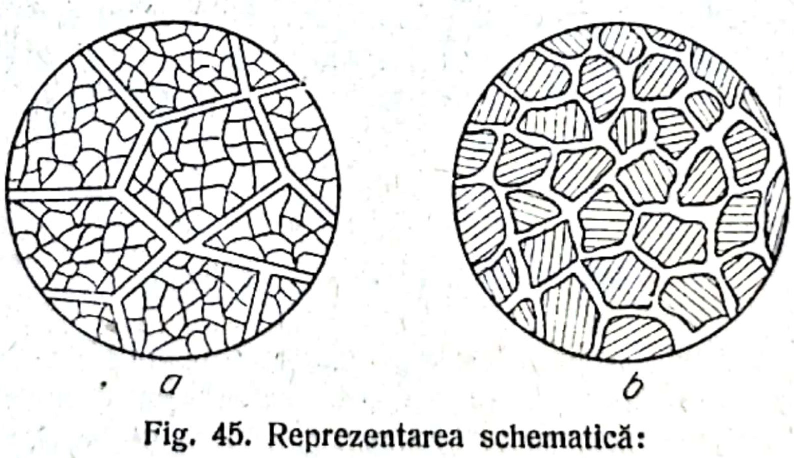


Fig. 45. Reprezentarea schematică:
a — ferită şi soluţie solidă deasupra punctului Ac_1;
b — ferită şi perlită.

In punctul Ac_3, ferita din granulele vechi se disolvă definitiv şi rămân o serie de granule mici de soluţie solidă. După răcirea înceată corespunzătoare, se obţin granule mici de perlită în interior separate

prin benzi de ferită pe margini (fig. 45 *b* şi fig. 46). In oţelul eutectoid şi oţelul hipereutectoid mecanismul de transformarea granulelor va fi acelaşi ca şi în oţelul hipoeutectoid.

Prin recoacere se caută să se obţină următoarele:

1. Se înmoaie oţelul pentru o prelucrare mai uşoară la maşini unelte;
2. Se obţin granule fine şi se ridică proprietăţile mecanice;
3. Se îndepărtează tensiunile interne provocate în timpul prelucrării mecanice la cald.
4. Se îndepărtează deformarea granulelor după prelucrarea mecanică la rece (laminarea la rece, broşarea, trefilarea).

Oţelul turnat este constituit din granule mari care îi scad proprietăţile mecanice. Acest oţel trebue supus neapărat tratamentului termic, recoacerii.

Acelaşi lucru se poate spune şi despre turnarea pieselor de oţel fasonate, care se supun recoacerii pentru a li se îmbunătăţii proprietăţile mecanice, prin transformarea granulelor mari în granule mici, cum şi pentru a îndepărta tensiunile nedorite şi a face oţelul mai puţin dur.

Prelucrarea mecanică la cald prin presare care a fost executată contrar instrucţiunilor, de exemplu, forjarea, laminarea, stanţarea poate fi însoţită de mărimea dimensiunilor granulelor şi de apariţia tensiunilor interne nedorite. Aceste fenomene nedorite pot fi eliminate printr'o recoacere corectă.

In funcţie de condiţiile cerute oţelului, se schimbă şi condiţiile recoacerii.

18. Condiţiile recoacerii

Asupra rezultatelor recoacerii influenţează următorii factori: viteza de încălzire, temperatura de încălzire, timpul de menţinere la temperatură şi viteza de răcire.

Viteza de încălzire depinde de compoziţia chimică a oţelului şi de dimensiunile pieselor sau barelor. Oţelurile aliate, cu conductibilitate termică mică; piesele mari şi cele de formă complicată necesită o încălzire înceată.

Timpul de menţinere la temperatură prescrisă în cazul recoacerii trebue să fie astfel, încât piesele să se încălzească la aceeaşi temperatură în toată secţiunea şi să aibă timp suficient pentru toate transformările în structura oţelului. Pe de altă parte, timpul prea îndelungat de menţinere la temperatura prescrisă poate duce la formarea granulelor mari. Asupra duratei de menţinere la temperatură influenţează greutatea pieselor sau barelor de oţel ce se încarcă, structura iniţială, compoziţia oţelului şi temperatura de încălzire. Cu cât obiectul este de dimensiuni mai mari şi cu cât încărcarea este mai mare, cu atât durata de menţinere a oţelului în cuptor este mai mare. Perlita gra-

nulară necesită o durată mai mare de menţinere la temperatură pentru trecerea cementitei în soluţia solidă, decât perlita lamelară. Din această cauză, dacă oţelul conţine cementita sub formă de granule, timpul de menţinere creşte. Cu cât temperatura de încălzire este mai ridicată, cu atât transformările structurale ale oţelului au loc mai repede şi cu atât timpul de menţinere este mai scurt.

Am arătat mai înainte că la încălzirea până la punctul Ac_3 se formează granule mici noi. Dacă încălzirea se face deasupra punctului Ac_3, aceste granule la început îşi măresc dimensiunea proporţional cu ridicarea temperaturii, apoi proporţionalitatea se distruge şi granulele cresc mai repede decât temperatura. Pe fig. 47 se dă curba de schimbarea mărimii granulei în funcţie de temperatura de încălzire.

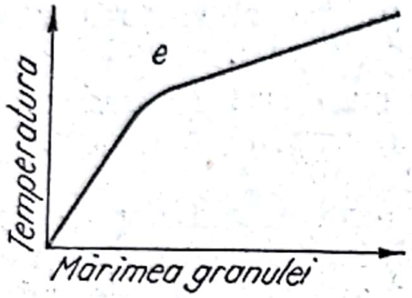


Fig. 47. Curba relaţiei dintre mărimea granulei şi temperatură.

Limita periculoasă (punctul „*e*") se găseşte în cazul oţelurilor de duritate medie la temperatura de circa 1 000°C, iar în cazul oţelului moale la temperatura de circa 1 100°C.

Recoacerea corectă normală constă în încălzirea oţelului cu 30—50°C deasupra punctului Ac_3, urmată de răcire înceată.

In tabela 3, se dau temperaturile de recoacere ale oţelului cu conţinut diferit de carbon (prof. Nesselstrauss G. Z.).

Tabela 3

Temperatura de recoacere a oţelului carbon

Conţinutul de carbon	Temperatura punctului critic superior (Ac_3), °C	Temperatura de recoacere °C
0,0	900	900—910
0,2	820	840—860
0,4	765	785—810
0,6	750	770—795
0,8	735	760—785
0,9	720	750—775
1,0	—	750—775
1,2	—	750—775

Din datele arătate în tabelă se vede că temperatura de recoacere scade cu ridicarea conţinutului de carbon.

Ridicarea temperaturii de recoacere influenţează nefavorabil proprietăţile mecanice ale oţelului. Acest lucru se poate vedea din tabela 4.

Cele mai bune proprietăţi mecanice ale oţelului se obţin după o recoacere la temperatura de 850°C. Dacă se ridică temperatura, rezistenţa la rupere şi limita elastică cresc, în timp ce alungirea, contracţia şi rezilienţa scad brusc.

Tabela 4

Influenţa recoacerii asupra proprietăţilor mecanice ale oţelului carbon cu 0,45% carbon

Recoacerea 1		Recoacerea 2		Recoacerea 3		Rezistenţa la rupere în kg/mm²	Limita elastică în kg/mm²	Alungirea, în %	Contracţia, în %	Rezilienţa, kgm/cm²
Temperatura °C	Timpul de menţinere în minute	Temperatura °C	Timpul de menţinere în minute	Temperatura °C	Timpul de menţinere în minute					
820	30	—	—	—	—	42	64	23	62	10
820	60	—	—	—	—	43	66	22	60	9
820	90	—	—	—	—	43,5	68	21	58	8,5
820	120	—	—	—	—	44,5	70	19	57	8
820	120	820	30	—	—	42	65	22,5	61	10
900	30	—	—	—	—	41	68	20	57	9
900	60	—	—	—	—	42	69	19	56	8
900	90	—	—	—	—	42,5	71	18,5	55	7,5
900	120	—	—	—	—	43	74	18	54	7
950	30	—	—	—	—	43	75	19	56	7,5
950	60	—	—	—	—	42,5	74	18	54	7
950	90	—	—	—	—	42	74	17	53	6,5
950	120	—	—	—	—	42	73	16	52	6
1000	30	—	—	—	—	44	76	18	52	7
1000	60	—	—	—	—	43	75	17	50	6,5
1000	90	—	—	—	—	42,5	74	16	48	6
1000	120	—	—	—	—	42	72	15	46	5,5
1000	120	820	30	—	—	42	68	20	58	9
1100	30	—	—	—	—	44	77	15	45	6,5
1100	60	—	—	—	—	44	75	14	44	6
1100	90	—	—	—	—	43	70	13	42	5,5
1100	90	820	30	—	—	43	70	18	55	8
1100	90	820	30	820	30	42	64	22,5	62	9,5

Influenţa temperaturii de încălzire asupra microstructurii oţelului se arată în fotografiile din fig. 48. La o temperatură de încălzire prea ridicată, granulele cresc foarte mult, oţelul devine foarte fragil şi apare aşa numita structură Widmandstädter (fig. 49), în care ferita se separă sub formă de lamele paralele.

Oţelul supraîncălzit se poate îndrepta printr'o nouă recoacere executată în condiţii corecte. Câteodată, această corijare se poate face numai printr'o recoacere dublă. In tabela 5 se dau proprietăţile oţelului supraîncălzit, după o recoacere repetată în condiţii corecte.

Tabela 5.

Influenţa recoacerii asupra oţelului supraîncălzit (oţel cu 0,45%C).

Starea oţelului	Rezistenţa la rupere kg/mm²	Limita de scurgere kg/mm²	Alungirea în %	Contracţia în %	Rezilienţa în kg/cm²
Oţel supraîncălzit . . .	48	73	10	35	5
Oţel după prima recoacere	43	70	18	55	8
Oţel după a doua recoacere	42	64	22,5	62	9,5

Dacă prin aplicarea recoacerii duble, calitatea oţelului nu se îmbunătăţeşte, temperatura în timpul primei recoaceri trebue ridicată cu 100—150 °C deasupra punctului critic superior, după care oţelul trebue supus recoacerii normale. Prima recoacere la temperatura ridicată favorizează egalizarea rapidă a structurii în toată secţiunea, iar a doua recoacere — micşorează granulele oţelului.

Dacă recoacerea se execută până la incandescenţă, indicată culoarea galbenă sau albă (oţelul începe să producă scântei), pe marginile granulelor se răspândeşte oxigenul; fierul se va oxida şi produsele de oxidare se vor depune la marginile granulelor. Acest oţel recopt la temperatură prea ridicată (suprarecopt) are proprietăţi mecanice proaste, care nu se mai pot îndrepta şi materialul se rebutează.

Este interesant de remarcat faptul că oţelul solidificat în lingotiere sau forme nu prezintă caracteristicele fenomenului recoacerii la temperatura prea ridicată, cu toate că acest oţel trece prin intervalul temperaturilor ridicate. Unii specialişti explică aceasta prin faptul că la răcirea oţelului are loc o degajare intensă de hidrogen, care împiedică pătrunderea oxigenului din aer în oţel.

In fig. 50 se prezintă microfotografia oţelului încălzit la o temperatură prea ridicată, (suprarecopt), cu protoxid de fier format la marginile granulelor.

19. Influenţa vitezei de răcire asupra structurii oţelului

După recoacere piesele se răcesc fie încet (afară din cuptor), fie foarte încet într'un cuptor închis de preîncălzire.

Incălzirea oţelului cu 30—50 °C peste punctul critic Ac_3 urmată de răcire la aer, se numeşte normalizare. In timpul normalizării oţelului,

structura devine mai omogenă şi în acelaşi timp proprietăţile mecanice se îmbunătăţesc. Din cauză că la răcirea în aer a oţelurilor aliate şi a oţelurilor carbon conţinând peste 0,45 % carbon, apar tensiuni remarcabile şi creşte duritatea, aceste oţeluri, după normalizare, se supun revenirii la temperatură ridicată (550—680 °C).

Oţelurile aliate cu conţinut mediu de carbon, conţinând siliciu până la 1,5 %, sau nichel până la 3 %, sau crom până la 1 % se răcesc în cuptor închis, cu viteza de maximum 50—70 °C/h.

Oţelurile de crom şi nichel şi oţelurile cu crom, nichel şi molibden se răcesc până la temperatura de 400—300 °C, cu iuţeala de 10—30 °C/h, în funcţie de conţinutul de carbon şi de celelalte elemente de aliere.

In funcţie de viteza de răcire, austenita, se descompune formând componenţi cu structură diferită. Proprietăţile mecanice ale oţelului recopt depind de gradul de fineţe al componenţilor structurali.

Perlita se poate deosebi după mărimea granulelor de ferită şi cementită (fig. 51). In fig. 51, *a*, se reprezintă în mod schematic perlita constituită din lamele mici, iar în fig. 51, *b*, perlita constituită din lamele mari. In fig. 52 se dă microfotografia perlitei cu lamele mici, în oţel cu 0,83 % C. (Baboşin A. L.). Cu cât răcirea se face mai repede, cu atât componenţii structurali sunt constituiţi din granule mai mici şi cu atât elasticitatea şi rezistenţa oţelului este mai ridicată. In timpul răcirii prea încete, la trecerea prin punctul Ar_1, se poate forma perlita granulară (fig. 51, *c*) care coboară elasticitatea, rezistenţa şi duritatea oţelului.

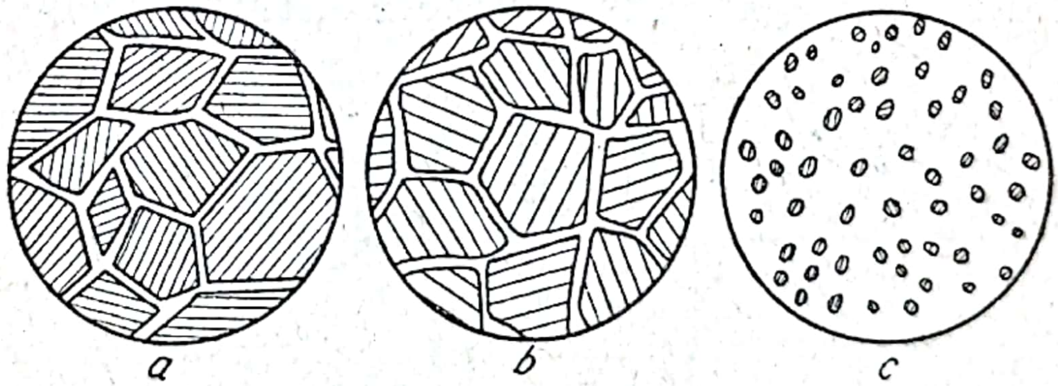


Fig. 51. Reprezentarea schematică a separării perlitei:
a — perlită lamelară cu lamele mici ; *b* — perlită lamelară cu lamele mari ; *c* — perlită granulară.

Separarea feritei depinde şi de viteza de răcire în aşa numitul interval critic, când se separă ferita din soluţia solidă. Cu cât oţelul se va răci mai repede în intervalul critic, cu atât granulele de ferită separată vor fi mai mici.

Dacă oţelul se răceşte foarte încet, în acest interval (0,5 °C pe minut) apare ferita sub formă de grămezi (fig. 53). Oţelul în această stare are tensiune şi rezistenţă mică.

Pentru obţinerea perlitei granulare, în oţeluri eutectoide şi hipereutectoide, oţelul se încălzeşte ceva mai sus de punctul critic Ac_1, se menţine la această temperatură şi se răceşte încet la trecerea prin punctul critic Ar_1. In timpul acestui tratament, lamelele de cementită iau formă granulară.

Din cele expuse mai sus se vede că starea componenţilor structurali ai oţelului şi prin urmare şi proprietăţile mecanice ale oţelului depind de viteza de răcire în intervalul critic al temperaturilor. De exemplu, pentru a ridica elasticitatea şi rezistenţa oţelului, trebue trecut repede intervalul critic şi punct Ar_1, în timpul ce pentru a-l înmuia, răcirea trebue executată încet, în acest interval. Prin urmare, viteza de răcire trebue aleasă în funcţie de condiţiile care se cer oţelului.

Forma în care se separă cementita (fig. 54) în oţelul hipereutectoid depinde deasemenea de viteza de răcire în timpul separării ei din soluţia solidă. Cementita se va separa sub formă de ace (fig. 54, *a*) şi sub formă de reţea de cementită (fig. 54, *b*) la răcire repede. In cazul răcirii foarte încete, cementita se poate descompune cu formare de carbon sub formă de grafit. Afară de aceasta, cementita se găseşte deseori în oţel sub formă de granule (fig. 54, *c*).

După tratarea metalului cu un decapant special (soluţie de picrat de sodiu la temperatura de fierbere) se observă în timpul examinării oţelului la microscop (fig. 55) cementită închisă la culoare pe când celelalte structuri rămân deschise la culoare.

La alegerea vitezei de răcire se ia în consideraţie că unele calităţi de oţel pot deveni fragile în timpul răcirii încete, sub punctul Ar_1.

20. Recoacerea pieselor turnate

Oţelul turnat sub formă de piese fasonate are proprietăţi mecanice inferioare. Aceasta se datoreşte dimensiunilor mari ale granulelor din oţelul turnat. Afară de aceasta, oţelul pieselor turnate are tensiuni mari, care nu numai că scoboară rezistenţa pieselor, dar cu timpul, duc la schimbarea dimensiunilor.

Recoacerea pieselor turnate din oţel, în comparaţie cu recoacerea materialului laminat la cald, prezintă particularitatea că timpul de menţinere la temperatura maximă [Ac_3+(30—40 °C)] este de 1,5—2 mai mare şi, înafară de aceasta, piesele turnate se răcesc cu viteza de 80—120 °C/h, în timp ce oţelul carbon laminat la cald se răceşte cu viteza de 100—200 °C/h. Piesele turnate de mare importanţă se încălzesc în prealabil la temperatura de 950...1 000 °C, apoi se supun normalizării (recoacerii urmată de răcire în aer).

De multe ori lingourile din oţel special şi piesele importante se supun unei încălziri îndelungate la temperatură ridicată. Această încălzire are drept scop micşorarea neomogenităţii oţelului în ceeace

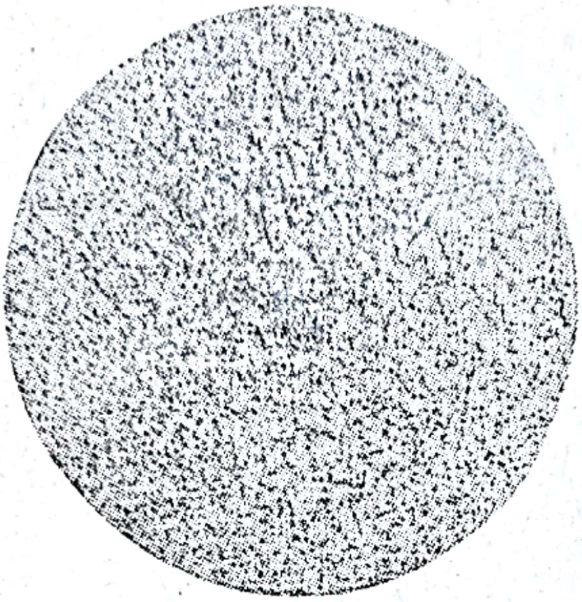


Fig. 35. Amprentă pe sulf. In centru este regiunea care prezintă fenomenul licuației.

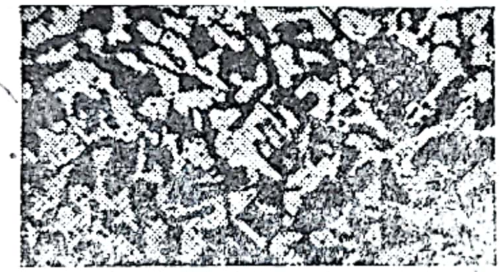
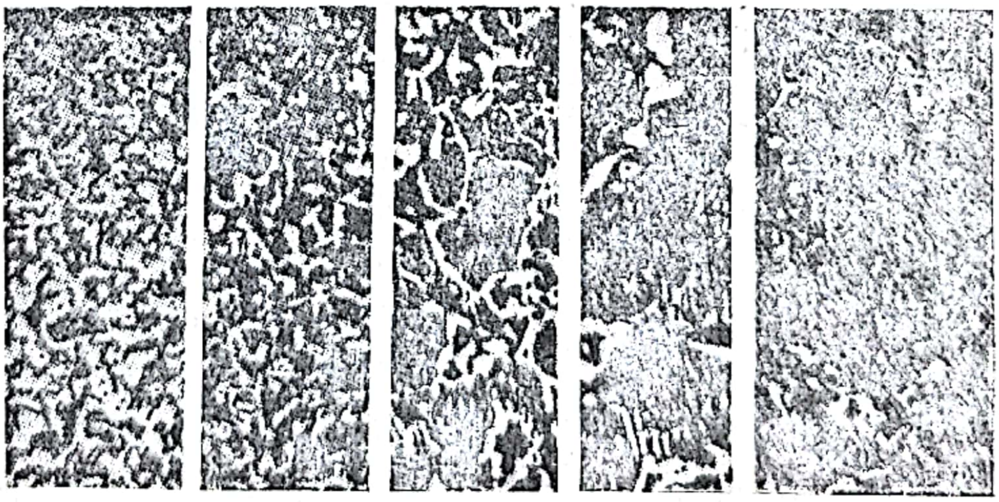


Fig. 44. Microstructura oțelului în stare inițială. (Perlita plus ferita).



Fig. 46. Microstructura oțelului cu 0,38 % C, după încălzire cu 30 °C deasupra punctului Ac_3 și după răcire în aer.



a *b* *c* *d* *e*

Fig. 48. Influența temperaturii de normalizare asupra microstructurei oțelului: *a* = 850 °C; *b* = 900 °C; *c* = 950 °C; *d* = 1 000 °C; *e* = 1 100 °C.



Fig. 49. Structura Widmanstätter a oțelului cu 0.40% Carbon.

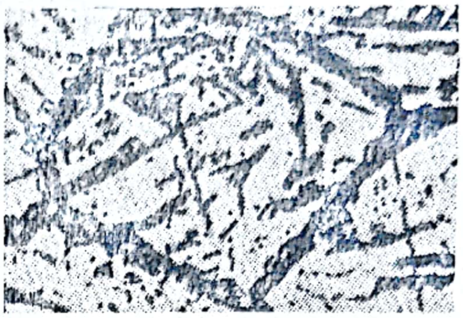


Fig. 50. Oțel suprarecopt.

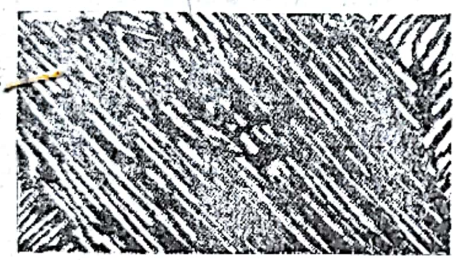


Fig. 52. Perlită sub formă de lamele mici.

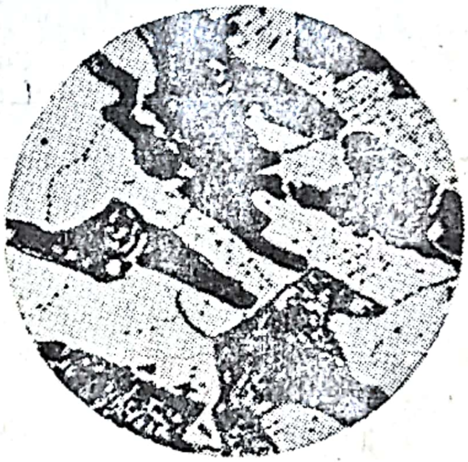


Fig. 53. Ingrămădiri de ferită.



a *b* *c*

Fig. 54. Microstructura oțelului hipereutectoid. (Perlita plus cementita):

a — sub formă de rețea ; *b* — sub formă de rețea și ace ; *c* — sub formă de granule.

privește compoziția chimică și se numește recoacere de difuziune. Pentru aceasta oțelul se încălzește încet până la temperatura 1 100—1 150 °C, se menține la această temperatură timp de 10—15 ore și se răcește până la 200—250 °C cu viteza de 80—100 °C/h. Dacă recoacerea se face înainte de încălzirea în vederea laminării sau forjării, granulele mari, care se formează în timpul încălzirii îndelungate și la temperatură ridicată, nu prezintă importanță. Pentru eliminarea tensiunilor după recoacere la temperatură ridicată, se face revenirea la temperatura de 650—680 °C.

21. Recoacerea rapidă a oțelului

In prezent, viteza de încălzire a oțelului este mult mărită, fără a se micșora calitățile lui. Pentru calculul duratei de încălzire a semifabricatelor cu diametru până la 150 mm, dela 0 °C până la 850 °C, se recomandă, să se încălzească obiectul uniform din toate părțile și să se utilizeze formula lui N. N. Dobrohotov:

$$z = k.D^{1,5}$$

unde z = timpul de încălzire, în ore;

D = diametrul piesei, în m;

k = coeficientul, care în cazul încălzirii piesei din toate părțile este pentru carbon egal cu 5, iar pentru oțel aliat cu 13,3. Dacă încălzirea se face numai din două părți, z trebue înmulțit cu 2, iar dacă încălzirea se face într'o singură parte, z se înmulțește cu 4.

Durata de menținere la temperatură se poate determina după formula:

$$z = 2,7\ D^{1,5}$$

Pentru accelerarea încălzirii se recomandă ca în zona de încărcare să se mențină temperatura ridicată. De exemplu, în cazul încălzirii pieselor de automobile, care urmează să fie călite sau normalizate, zona de încărcare se încălzește până la 900 °C, temperatura în restul cuptorului fiind de 875 °C. Ca rezultat, randamentul pe 1 m² suprafață de vatră se mărește dela 110—120 până la 175—200 kg/h.

Pentru scurtarea timpului de răcire se poate aplica răcirea în trepte. Dacă oțelul încălzit cu 30—40 °C deasupra punctului Ac_3 se răcește până la temperatura de 500—680 °C apoi se menține la această temperatură, soluția solidă se descompune foarte repede. S'a stabilit că această descompunere este însoțită de o scădere mare a durității, ceeace ușurează prelucrarea oțelului la mașinile unelte.

Intrebuințarea acestei metode de înmuierea oțelului scurtează mult timpul de recoacere. Trebue remarcat faptul că temperatura la care are loc descompunerea soluției solide nu este aceeași pentru toate felurile de oțel și variază dela 500—680 °C. Descompunerea soluției solide la aceste temperaturi se produce rapid la unele oțeluri, în timp ce la alte oțeluri necesită un timp îndelungat de menținere în cuptor.

Pentru recoacerea rapidă a unui oţel oarecare, se determină temperatura la care are loc descompunerea rapidă a soluţiei solide, apoi se stabileşte timpul de menţinere corespunzător. In acest scop, probele de oţel se încălzesc la temperatura de 30—40°C deasupra punctului Ac_3, se menţin la această temperatură, apoi se introduc în cuptorul încălzit până la 500°C, 550°C, 600°C şi 650°C. După 30 minute de menţinerea probei la această temperatură, se face răcirea în aer. Stabilind duritatea minimă, se determină temperatura optimă pentru descompunerea soluţiei solide. Apoi, pentru probele rebutate, se alege cel mai potrivit timp de menţinere. Pentru aceasta, piesele de probă supuse acestui tratament se sparg şi se măsoară duritatea la spărtură. Aflând temperatura şi timpul de menţinere optim, se face recoacerea pieselor gata. Pentru obţinerea proprietăţilor mecanice superioare, aceste piese se încălzesc ulterior deasupra punctului Ac_3 (adică se execută călirea, recoacerea şi normalizarea).

Temperatura la care are loc descompunerea cea mai rapidă a soluţiei solide suprarăcite se poate determina din curba în formă de C pentru oţelul dat. Drept cuptoare pentru răcirea iniţială până la temperatura de 500—680°C, se pot întrebuinţa căzi de plumb, cuptoare cu flacără sau cuptoare cu mufă. Diferenţa constă numai în timpul de menţinere în cuptor. In cuptoarele cu flacără, timpul de menţinere trebue să fie mai mare decât în cuva de plumb.

22. Recoacerea în atmosfera desoxidantă

In timpul încălzirii urmate de răcire, la recoacerea şi călirea oţelului, pe suprafaţa pieselor se formează scorie (ţunderoxizi de fier) şi se produce decarburarea oţelului. Pierderile de oţel datorită oxidării formează circa 3%. Afară de aceasta, formarea scoriei şi a stratului decarburat provoacă necesitatea introducerii lucrărilor suplimentare pentru eliminarea lor, ceeace pentru unele obiecte este foarte costisitor (curăţirea într'un aparat cu curent de nisip, decaparea).

Apariţia scoriei şi decarburarea pieselor se produc chiar în timpul încălzirii lingourilor de oţel înainte de laminare. Dacă lingoul are dimensiuni mari, iar profilul laminat are secţiune mică, stratul decarburat se laminează, devine subţire şi se îndepărtează uşor în timpul prelucrării mecanice ulterioare. In alte cazuri, stratul decarburat rămâne după laminare şi nu se îndepărtează decât parţial după prelucrarea mecanică. Decarburarea puternică se observă în timpul călirii oţelurilor rapide, care se execută la temperaturi ridicate (1 200—1 350°C).

In majoritatea cazurilor, prezenţa stratului decarburat duce la încovoierea şi scăderea gradului de prelucrare a pieselor. Prezenţa acestui strat pe obiectele supuse nitrurării provoacă fragilitatea ridicată a stratului superior al oţelului.

Mărirea vitezei de încălzire şi scurtarea timpului de menţinere la temperatură în limitele admisibile, micşorează arsura.

Toate acestea arată că tratamentul termic al oţelului fără oxidare devine din ce în ce mai actual şi în industrie capătă mare răspândire cuptoarele termice care permit tratamentul termic al pieselor fără oxidare şi decarburare. Acest tratament termic se bazează pe crearea în cuptor a unei atmosfere neutre, care fereşte de oxidare materialul ce se prelucrează.

Utilizarea atmosferei neutre la încălzire se aplică tot mai mult în industrie (recoacerea tablelor, tablelor de automobil, sârmei, benzilor de oţel, tuburilor de aviaţie, oţelului inoxidabil, alamei, cuprului, etc.) şi are perspective largi pentru desvoltare, deoarece dă economie mare şi permite îmbunătăţirea calităţii produselor.

In mod practic, ferirea obiectelor de oxidare se realizează în modul următor:

1) prin umplerea spaţiului din cuptor cu gaze neutre;

2) prin crearea în cuptor a flacării neutre;

3) prin crearea unei perdele de gaz, care să împiedice pătrunderea aerului în cuptor;

4) prin introducerea în camera de lucru a cuptorului a substanţelor solide şi lichide, care la temperaturi ridicate degajează gaze, care măresc presiunea din cameră şi împiedică pătrunderea aerului;

5) prin întrebuinţarea băilor lichide (cu plumb, cu cloruri, cu adaus de ferosiliciu şi cianuri), pentru încălzire.

In cazul recoacerei, răcirea obiectelor se face deasemenea în mediu neutru. Ca atmosferă neutră poate servi azotul, hidrogenul, aburii supraîncălziţi (pentru cupru), produsele de disociaţie (descompunere) sau produsele de ardere ale amoniacului, produsele arderii incomplete ale ţiţeiului, păcurii, a gazului de iluminat şi gazului natural, a propanului şi butanului, etc.

Atmosfera protectoare trebue să fie formată din gaze inerte faţă de metalul dat în care componenţii gazului sunt îndepărtaţi numai atunci când sunt vătămători şi nicidecum când sunt inofensivi.

In special trebue eliminat sulful şi compuşii lui în timpul recoacerii aliajelor neferoase, deoarece în acest caz sulful are o influenţă foarte rea asupra suprafeţei metalului. Când atmosfera protectoare conţine sulf, pe aliajele de cupru se formează un strat de sulf de culoare albastru închis până la roşu, care se îndepărtează greu prin decapare.

Deoarece vaporii de apă se disociază la temperatură ridicată, ei trebuesc îndepărtaţi în timpul încălzirii materialelor. Prezenţa vaporilor de apă în atmosfera protectoare nu are acţiune prea dăunătoare în timpul încălzirii metalelor neferoase, aşa cum are loc în cazul oţelului.

Alegerea atmosferei protectoare depinde de felul materialului de încălzit, de condiţiile cerute suprafeţei prelucrate a pieselor, de temperatura şi durata tratamentului şi de costul gazului protector.

La alegerea atmosferei protectoare, gazele trebue să îndeplinească următoarele condiţii:

1) să ferească suprafaţa de oxidare sau de decarburare;
2) să păstreze suprafaţă curată;
3) să carbureze puţin;
4) să se producă pierderi minime de gaze;
5) gazele întrebuinţate să nu fie periculoase în ceeace priveşte exploziile.

In funcţie de materialul încălzit se întrebuinţează diferite gaze. De exemplu: pentru oţel conţinând 0,4% carbon, se întrebuinţează gazul natural amestecat cu aer în raportul 1 : 6. Acest gaz are următoarea compoziţie: 74% N_2; 9,6% H_2; 8,7% CO; 5,8% CO_2; 1,9% CH_4.

S'a stabilit că unele gaze care sunt neutre pentru oţelul cu conţinut redus de carbon, provoacă decarburarea şi oxidarea parţială a oţelului cu conţinut ridicat de carbon. Dacă pentru recoacerea de culoare deschisă la temperatura de 750 °C, alegerea atmosferei protectoare nu prezintă greutăţi, acest lucru se realizează mai greu la încălzirea până la temperatura de 850—950 °C a oţelului cu conţinut mediu de carbon şi a oţelului cu conţinut ridicat de carbon.

Hidrogenul protejează bine oţelul de oxidare, dar la încălzire peste temperatura de 700 °C provoacă decarburare. Afară de aceasta, hidrogenul şi azotul sunt foarte scumpi şi necesită trecerea lor printr'un strat de şpan de oţel incandescent (pentru hidrogen), sau printr'un strat de şpan de cupru (pentru azot), pentru îndepărtarea oxigenului. Prezenţa urmelor de oxigen în gaze duce la formarea culorilor de revenire pe suprufaţa oţelului recopt.

Inainte de încălzire, piesele se curăţă de ulei, apă, grăsime, etc. Pentru îndepărtarea petelor de ulei şi grăsime se face degresarea lor în instalaţii speciale. Cantităţile mici de oxizi nu au acţiune dăunătoare, deoarece ei dispar în timpul încălzirii în atmosfera protectoare, care este de regulă puţin reducătoare.

Există şi recoacere „de culoare deschisă" (cu revenire dela starea de incandescenţă albă) şi „cu luciu". In cazul recoacerii „de culoare deschisă" oxidarea se produce într'un grad foarte redus şi piesele iau un aspect întunecat (mat), în timp ce, în cazul recoacerii „cu luciu", oxidarea nu are loc şi piesele îşi păstrează aspectul lor iniţial. In ultimul caz nu se admite prezenţa bioxidului de carbon şi a vaporilor de apă în atmosfera protectoare chiar în cantităţi foarte mici.

Produsele arderii incomplete a gazelor se pot obţine în instalaţia reprezentată în fig. 56. Gazul se amestecă în dispozitivul de amestecare cu aer, în cantitate determinată. Vasul de amestecare lucrează automat şi asigură obţinerea amestecului cu aer în cantitate insufi-

cientă pentru ardere completă. In cazul unui exces de aer, oxigenul rămâne în produsele de ardere ceeace provoacă oxidare. Deobicei se dau 2,5—3 părţi aer pentru 1 parte propan şi butan şi 6 părţi aer pentru 1 parte gaz natural.

La presiunea de 0,015—0,020 kg/cm² amestecul intră în cuptor şi arde. Cuptorul se umple cu cărămidă refractară în bucăţi ceeace permite amestecarea bună şi utilizarea completă a oxigenului. In urma arderii incomplete a gazului, în afară de H_2O, N_2, CH_4 şi CO_2, se formează H_2, H_2S şi CO.

Când atmosfera protectoare conţine sulf, acesta din urmă are acţiune dăunătoare atât asupra pieselor, cât şi asupra elementelor de încălzire. Pentru îndepărtarea impurităţilor vătămătoare (a bioxidului de sulf — SO_2 — şi hidrogenul sulfurat — H_2S), produsele arderii se trec prin calcar pe care picură apă. Calcarul face apa puţin alcalină, favorizând absorbţia mai mare a bioxidului de sulf — SO_2. Odată cu SO_2 se absoarbe parţial şi H_2S. După această curăţire, pentru îndepărtarea totală a H_2S, gazele se trec printr'o coloană conţinând oxid de fier. Pentru a nu se reduce oxidantul, este necesar ca în cazul obţinerii gazului să se întrebuinţeze un conţinut redus de sulf.

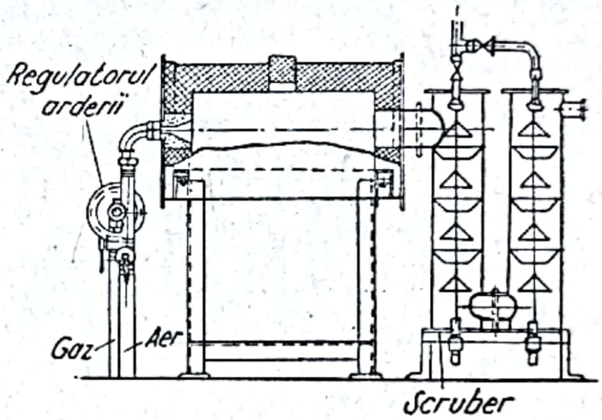


Fig. 56. Instalaţia pentru obţinerea produselor arderii incomplete a gazelor.

Pentru îndepărtarea vaporilor de apă, gazele se trec printr'un răcitor cu temperatura de maximum 4 °C. Dacă în răcitor temperatura va fi mai ridicată, în camera cuptorului în timpul răcirii, pe piese se depune o umezeală, care duce la apariţia de pete pe suprafaţă. Pentru îndepărtarea aproape completă a umezelii, produsele arderii se trec printr'un refrigerent electric, prin oxid de aluminiu activat sau prin clorură de calciu. Gazele astfel obţinute se introduc în spaţiul de lucru al cuptorului.

Curăţirea gazului de bioxid de carbon se face trecând gazul prin cărbune încălzit până la incandescenţă (bioxidul de carbon — CO_2 — se transformă în oxid de carbon — CO). Eliminarea CO_2 se poate realiza şi prin trecerea gazului printr'o soluţie de hidroxid de potasiu sau de hidroxid de sodiu.

Când nu se găsesc gazul de iluminat şi gazul natural, ca mediu neutru pot fi utilizate gazele obţinute prin cracarea ţiţeului sau păcurii în prezenţa aerului sau a apei.

Cracarea este descompunerea produselor petroliere în părţile lor componente, sub acţiunea temperaturii şi presiunii ridicate.

Fig. 57 reprezintă instalaţia pentru obţinerea atmosferei neutre sau a atmosferei de cementare. Compoziţia gazelor obţinute depinde de viteza de introducere a ţiţeiului sau a păcurii. Ţiţeiul (sau păcura) se trimit în camera (*1*) cu ajutorul picurătorului (*3*). Aerul se introduce prin tubul (*2*). Gazul obţinut intră în răcitorul (*6*) şi apoi trece prin vasele (*5*) şi (*4*), conţinând ulei şi clorură de calciu.

Cracarea se face în prezenţa apei care se introduce în cameră. Sub acţiunea temperaturii ridicate, păcura sau petrolul şi apa se descompune. In acest caz se formează o cantitate mai mică de bioxid de carbon, în schimb gazele obţinute prin cracare în prezenţa apei au un conţinut ridicat de hidrogen, ceeace nu este de dorit de exemplu la recoacerea oţelului cu procent redus de carbon destinat pentru ştanţare adâncă sau mandrinare în stare rece (la rece).

Cu ajutorul cracării se pot obţine gaze pentru cementarea gazoasă a oţelului.

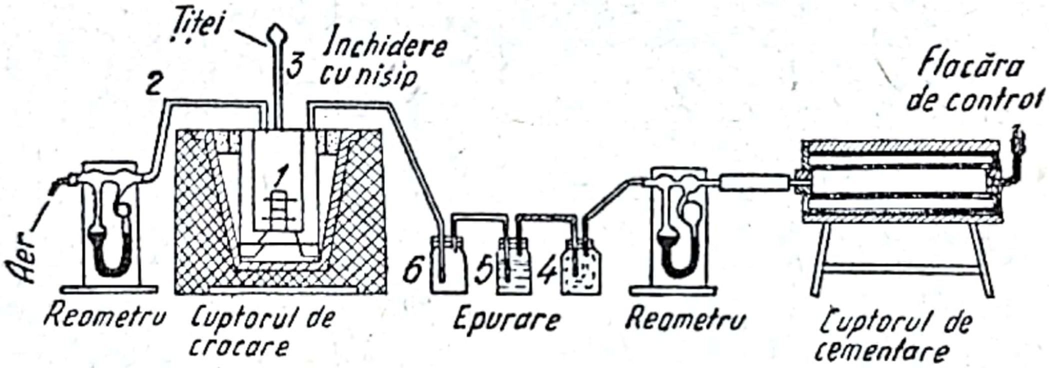


Fig. 57. Instalaţia pentru cracarea ţiţeiului şi a păcurii.

Cracarea în prezenţa aerului se face la temperatura de 750 ... 800 °C, iar în prezenţa apei, la temperatura de 850 °C. Dintr'un gram de petrol sau de păcură se obţine între 1,7 şi 2,8 litri gaz. Cracarea se poate executa şi fără aer sau apă, dar în acest caz randamentul producerii de gaze va fi mai scăzut (0,82 ... 0,92 litri).

Proprietăţile mecanice ale oţelului recopt în atmosferă neutră permit executarea prelucrării mecanice la rece, cu presiuni mai mari.

Pentru recoacerea cuprului, în afara produselor arderii incomplete, se pot utiliza aburii supraîncălziţi. Cuprul recopt în vapori de apă are alungire mai ridicată.

Dacă pentru recoacerea cuprului se întrebuinţează produsele arderii incomplete, trebue să se menţină un raport determinat între cantitatea de gaz şi cantitatea de aer. Când este lipsă de aer, se formează mult hidrogen (H_2), oxid de carbon (CO) şi hidrogen sulfurat (H_2S). In cazul cuprului, hidrogenul poate provoca „boala hidrogenului", iar H_2S se îndepărtează greu şi acţionând asupra cuprului fierbinte, provoacă întunecarea suprafeţei. Atmosfera se consideră favorabilă pentru recoacerea cuprului, dacă coţinutul de oxid de carbon (CO) se găseşte în limitele 1 ... 2,5%.

In cuptoarele de recoacere, gazul se aduce direct în camera cuptorului, care se închide ermetic cu un capac, împiedecând intrarea aerului.

Câteodată, în cazul recoacerii de culoare deschisă, se întrebuinţează cuptoare cilindrice prevăzute cu un capac care se înşurubează. In aceste cuptoare gazul neutru se obţine în urma evaporării uleiului cu incandescenţă deschisă, care se introduce pe fundul cilindrului.

In cuptoarele de călire uşa se deschide foarte des şi din această cauză umplerea camerei cu gaz neutru devine neeconomică. In aceste cuptoare pătrunderea aerului este evitată întrebuinţând perdeaua de gaz. Fig. 58 înfăţişează schema acestui cuptor. O cantitate mică de gaz şi de aer se introduce în camera *1*. In această cameră are loc arderea, iar produsele arderii, ieşind sub presiune prin spaţiul *3* în camera *2* formează în faţa camerei de lucru o perdea transversală de gaz. Această perdea nu permite pătrunderea aerului în cameră. La ridicarea uşii, perdeaua de gaz creşte automat, datorită acţiunii pârghiei asupra ventilului.

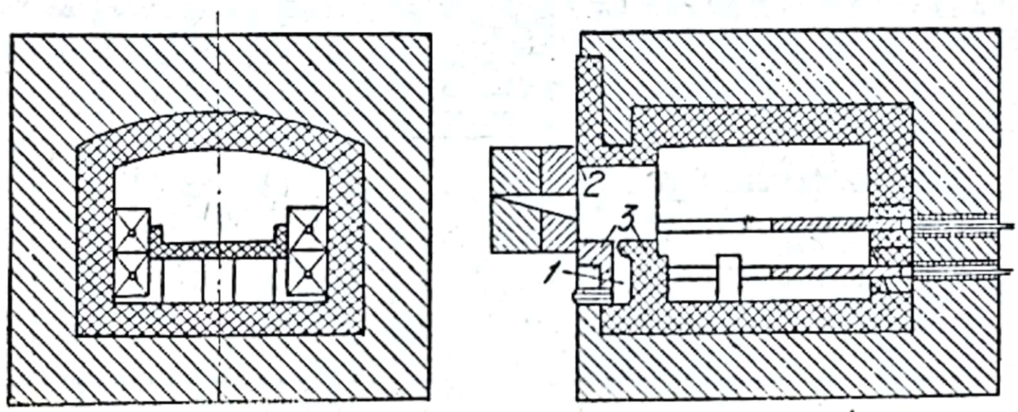


Fig. 58. Schema cuptorului cu perdea de gaz.

Mediul gazos neutru se obţine întroducând în cuptor substanţe solide, în formă de mufe, ce se transformă în gaz. La temperaturi ridicate aceste mufe se transformă treptat în gaz, care apără bine piesele împotriva decarburării. Mufele pot fi introduse în orice cuptor (cu păcură, cuptor electric, cuptor cu gaz, etc.) şi pot fi utilizate la temperaturi până la 1 260 °C.

A. B. Smirnov şi H. V. Belornecov, ocupându-se de problema protejării pieselor contra oxidării au recomandat pentru fabricarea acestor mufe următoarea reţetă (compoziţie):

Grafit	16%
Cocs	5%
Şamotă	35%
Argilă de Voronej	33%
$BaCO_3$ (Carbonat de bariu) . .	11%

După datele acestora, amestecul de mai sus apară oţelul rapid de decarburare timp de 15 ore de lucru, la temperatura de 1 300 °C.

CAPITOLUL V.

CĂLIREA OŢELULUI

Incălzind oţelul deasupra punctului Ac_1 şi apoi răcindu-l repede în apă rece sau ulei, el îşi va schimba proprietăţile iniţiale. Răcirea rapidă a oţelului se numeşte călire, iar oţelul supus acestui tratament se numeşte oţel călit. In tabela 6 se arată cum se schimbă proprietăţile mecanice ale oţelului carbon, după ce a fost supus călirii.

Tabela 6

Proprietăţile mecanice ale oţelului carbon, înainte şi după călire

Compoziţia chimică în %			Rezistenţa la rupere în kg/mm²		Limita curgerii, în kg/mm²		Alungirea în %		Gâtuirea la rupere (contracţia) în %		Reziliența în kg/cm² (rezistenţa la şoc şi lovire)	
C	Mn	Si	După normalizare	După călire în ulei	După normalizare	După călire în ulei	După normalizare	După călire în ulei	După normalizare	După călire în ulei	După normalizare	După călire în apă
0,11	0,23	0,20	34	50	26	41	35	22	65	55	—	—
0,25	0,24	0,23	50	71	30	50	25	20	60	53	—	—
0,32	0,31	0,27	60	80	42	56	23	15	58	50	10	6
0,42	0,35	0,30	65	100	45	80	22	4	63	32	7	3,5

Din tabelă se vede că după călire duritatea şi rezistenţa cresc, iar plasticitatea şi rezilienţa scad. Oţelul conţinând până la 0,3% carbon îşi schimbă puţin proprietăţile sale. Din această cauză se supun călirii oţelurile cu peste 0,3% carbon.

Greutatea specifică a oţelului după călire scade, adică piesa îşi măreşte volumul.

In timpul călirii oţelul îşi schimbă la maximum proprietăţile sale, dacă încălzirea se face deasupra punctului Ac_3. Cine provoacă acest lucru? In timpul încălzirii până la punctul Ac_1, în oţel nu are loc nicio transformare. In punctul Ac_1 toată perlita trece în soluţie solidă. La ridicarea ulterioară a temperaturii, ferita din oţelul hipoeutectoid sau cementita din oţelul hipereutectoid încep să se disolve treptat în soluţia solidă. In punctul Ac_3 sau Ac_{ot} va exista numai soluţie solidă. Dacă această soluţie solidă se răceşte repede, ea se transformă într'un component structural diferit, cu duritate mare. Acest component structural se numeşte martensită. In fig. 59 se prezintă structura martensitică a oţelului obţinut prin încălzirea lui în prealabil deasupra punctului Ac_3, urmată de răcire în apă.

Trebue remarcat că în oţelul carbon soluţia solidă trece în timpul răcirii rapide în martensită, iar în oţelul special, de exemplu în oţelul rapid, soluţia solidă se păstrează la temperatura obişnuită. Soluţia solidă are duritate mică şi, pentru mărirea durităţii, ea se transformă în martensită prin încălzire suplimentară la temperatură înaltă. In cazul oţelului rapid, încălzirea se face la temperatura de 550...600 °C.

Pincipiile teoretice ale călirii formează o problemă grea şi complexă. Cu toate că această problemă a preocupat aproape pe toţi metalurgiştii mari, ea mai are încă două puncte în care nu s'a ajuns la rezultate precise şi anume: natura martensitei şi cauzele durităţii acesteia. Odată cu desvoltarea procedeului roentgenografic de cercetări, care permite studiul aşezării atomilor în spaţiu, s'a putut stabili că martensita este soluţia solidă a carbonului în fier α.

Structura martensitei a fost determinată pentru prima oară de grupul de cercetători format din N. E. Seleacov, N. T. Gudţov şi G. V. Curdiumov.

In ceeace priveşte duritatea martensitei, există mai multe puncte de vedere. Fără să ne oprim aici asupra diferitelor teorii, vom aminti numai teoria tensiunilor interne, care este cea mai acceptabilă, deoarece explică mai mult decât oricare altă teorie fenomenele neclare care însoţesc călirea şi revenirea oţelului.

Se ştie că fierul α se caracterizează prin reţea cubică regulată, în care la vârfuri şi în centru sunt aşezaţi nouă atomi (fig. 60, *a*). Această reţea se numeşte cub centrat. Muchia „*a*" a acestui cub se numeşte parametru:

$a = 2{,}93$ Å (angstrom-ul este egal cu 10^{-8} cm).

In timpul trecerii fierului α în fier γ, reţeaua cubică anterioară (cubul centrat) trece în reţea cubică cu feţe centrate. In această reţea se aşează 14 atomi (fig. 60, *b*). Parametrul *a* este egal cu 3,63 Å.

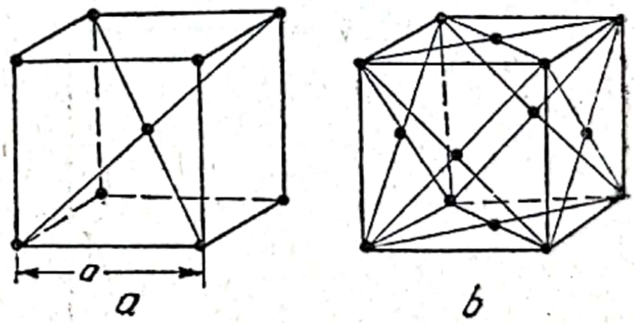


Fig. 60. Reţele în spaţiu:
a — fier δ şi fier α;
b — fier γ.

La trecerea fierului γ în fier α, reţeaua ia din nou aspectul unui cub centrat. Pentru fierul α valoarea parametrului *a* este egală cu 2,83 Å.

Se presupune că în fierul γ, carbonul se găseşte în centrul cubului elementar şi atomii de fier nu sunt înlocuiţi de el. (Soluţia solidă de pătrundere).

In timpul formării martensitei din soluţie solidă, în locul unei reţele cu feţe centrate şi cu atomi de carbon aşezaţi în centrul cubului, se formează o reţea centrată deformată. Această deformare se

datoreşte faptului că în locul reţelei de formă cubică având parametrii egali, se obţine reţeaua tetragonală, în care înălţimea este mai mare decât latura bazei în raportul 1,04:1. In această reţea tetragonală, un atom de fier este înlocuit cu câţiva atomi de carbon. Deoarece fierul α nu disolvă complet carbonul, acesta din urmă tinde să iasă din reţea. Această stare face ca oţelul călit în vederea obţinerii structurei martensitice, să prezinte tensiuni care provoacă duritate ridicată şi nestabilitate. Nestabilitatea oţelului călit se vede în special la revenire. Rezultatele călirii oţelului sunt influenţate de: temperatura de încălzire, timpul de menţinere la temperatura prescrisă, viteza de încălzire şi răcire. Să studiem aceşti factori.

23. Temperatura şi viteza de încălzire

Oţelul încălzit sub punctul Ac_1, nu prezintă soluţie solidă γ şi din această cauză nu se poate căli. Oţelul hipoeutectoid încălzit puţin deasupra punctului Ac_1 conţine şi ferită în afară de soluţie solidă, deci călirea nu va fi completă. In oţelul călit incomplet, în afară de martensită se găseşte şi ferită care micşorează duritatea oţelului. In fig. 61 e prezentată microfotografia oţelului hipoeutectoid încălzit între punctele Ac_1 şi Ac_3 şi răcit în ulei. Prezenţa feritei (porţiuni albe) odată cu martensita arată că tratamentul termic de călire nu a fost complet.

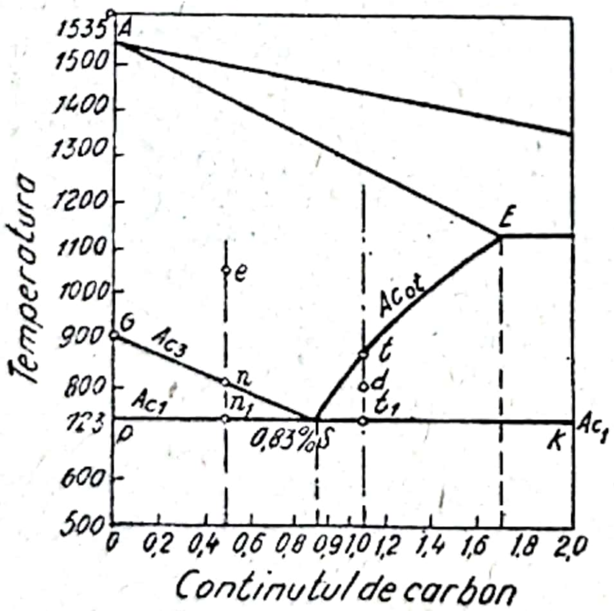


Fig. 62. Partea stângă a diagramei oţel-carbon.

Pentru călirea completă a oţelului, acesta se încălzeşte până în domeniul soluţiei solide, adică deasupra liniei GS (fig. 62) şi se răceşte cu viteză mare. Viteza de răcire la care se obţine structura martensitică cu cantitate mică de austenită reziduală se numeşte viteză critică de călire.

Linia CS coboară odată cu creşterea conţinutului de carbon. Prin urmare, temperatura de călire scade pe măsură ce creşte conţinutul de carbon în oţel. In practică oţelul se încălzeşte înainte de călire ceva deasupra liniei GS (punctul Ac_3). Dacă oţelul se încălzeşte numai până la punctul Ac_3, s'ar putea ca ferita să nu treacă toată în soluţie solidă. Incălzind oţelul deasupra punctului Ac_3 proprietăţile lui se înrăutăţesc, deoarece la temperaturi înalte granulele de oţel cresc foarte

mult şi afară de aceasta în timpul răcirii dela temperaturi înalte se nasc tensiuni foarte puternice care, în cazul granulelor cu dimensiuni mari, pot provoca crăpături.

Călirea oţelului hipoeutectoid poate fi completă sau incompletă în funcţie de temperatura de încălzire. Călirea completă corectă este obţinută prin încălzirea oţelului cu 20—40 °C deasupra punctului Ac_3 şi răcirea lui cu viteza critică. In cazul călirii incomplete, încălzirea se execută între punctele Ac_1 şi Ac_3.

Călirea totală urmată de supraîncălzire dă granule de dimensiuni mari, iar la temperatura prea înaltă, la marginea granulelor se răspândeşte oxigenul (arderea oţelului), ceeace face oţelul inutilizabil.

Oţelul eutectoid cu 0,83% carbon se încălzeşte în vederea călirii cu puţin deasupra punctului Ac_1 (coincide cu punctul Ac_3).

In timpul încălzirii cu puţin deasupra punctului Ac_1 (fig. 62), toată perlita din oţelul hipereutectoid trece în soluţie solidă şi oţelul va fi alcătuit din soluţie solidă şi cementită. După răcirea rapidă, se obţine martensită şi cementită (fig. 63). Cementita are o duritate mare şi din această cauză oţelulul hipereutectoid călit în limita temperaturilor dintre Ac_1 şi Ac_{ot} va fi mai dur. La încălzire până la punctul Ac_{ot}, (m), toată cementita trece în soluţia solidă. Prin urmare, după călire va exista numai martensită.

Incălzirea oţelului hipereutectoid, format din perlită şi cementită, pentru călire, se face puţin deasupra punctului Ac_1, adică până la temperatura de 750···760 °C. In acest caz cementita nu se disolvă complet în austenită şi se găseşte după călire alături de martensită. (Fig. 63).

Cementita sub formă de granule mici (globule) nu este periculoasă şi în acest caz încălzirea oţelului înaintea călirii se face aşa cum s'a spus, adică puţin deasupra punctului Ac_1. Prezenţa cementitei sub formă de ace sau reţea favorizează formarea crăpăturilor în timpul călirii şi din această cauză oţelul hipereutectoid, având această cementită, se supune forjării sau laminării pentru a transforma cementita în stare globulară. Dacă acest lucru nu se poate realiza, oţelul se supune tratamentului termic în următoarele condiţii:

1. Incălzirea cu 20···40 °C deasupra punctului Ac_{ot} (850···920 °C), urmată de răcire în uleiu (a pieselor de dimensiuni mari) sau în aer (a pieselor de dimensiuni mici).

2. Incălzirea oţelului până la temperatura de 600···650 °C (revenire la temperatură ridicată) şi menţinerea lui în această temperatură timp de 30 minute până la 2 ore, în funcţie de dimensiunile piesei.

Să vedem ce transformări prezintă cementita sub formă de ace şi cea sub formă de reţea, în timpul acestui tratament termic.

Incălzirea deasupra punctului Ac_{ot} transformă toată cementita în soluţie solidă, deci după primul tratament termic se obţine oţetul cu structura troostomartensitică sau sorbitică.

Incălzind încet mai departe, particulele de cementită cresc, în urma cărui fapt se obţine perlita cu structură granulară.

La încălzirea acestui oţel pentru călire până la temperatura de 750···760 °C, o parte de cementită se va găsi după răcire sub formă de granule mici, şi oţelul călit la această temperatură va conţine, pe lângă martensită formată din granule mici şi cementită granulară, aşa cum s'a observat mai sus.

Din această cauză, înainte de a fixa condiţiile de călire a oţelului hipereutectoid, este necesar să se determine în laboratorul metalografic în ce stare se găseşte cementita.

Oţelul hipereutectoid de scule trebue livrat de către fabrici, cu perlită granulară.

Viteza de încălzire pentru călire are mare influenţă asupra calităţii pieselor. In special aceasta se referă la piesele fabricate din oţeluri aliate şi la piesele cu formă complicată.

Datorită conductibilităţii termice mici, piesele din acest oţel se încălzesc neuniform în secţiune. In piesele complicate ca formă având părţi subţiri şi groase, primele se încălzesc repede, în timp ce ultimele necesită timp îndelungat pentru încălzire. Această încălzire neuniformă duce la mărirea neuniformă a volumului obiectului, ceeace provoacă apariţia tensiunilor şi crăpăturilor în oţel.

Pentru a evita încălzirea neuniformă a acestor piese, se aplică încălzirea iniţială până la 500···650 °C. După aceea, piesele se introduc în al doilea cuptor unde se încălzesc până la temperatura necesară călirii oţelului respectiv.

Inafară de factorii amintiţi mai sus, asupra vitezei de încălzire influenţează viteza de circulaţie a gazelor arse, gradul de utilizare a suprafeţei utile a cuptorului, aşezarea pieselor şi o serie de alţi factori. Datorită faptului că piesele sunt aşezate pe suport, încălzirea se face mai repede. Piesele aşezate una lângă alta se încălzesc mai încet decât piesele aşezate separat. Roata dinţată prelucrată, datorită intervalelor dintre dinţi, se încălzeşte mai repede decât roata neprelucrată, etc.

Durata de încălzire până la temperatura de 850 °C se poate calcula după formula lui N. N. Dobrohotov.

24. Timpul de menţinere la temperatură şi viteza de răcire

Timpul de menţinere la temperatură, ca şi temperatura, favorizează creşterea granulelor. Dacă timpul de menţinere la temperatură este mare, atunci chiar la temperatură mai joasă se obţin granule mari, iar oţelul călit este fragil. Neajunsul pe care-l prezintă timpul îndelungat de menţinere la temperatură are influenţă şi asupra faptului că de pe suprafaţa obiectului începe să ardă carbonul (are loc decarburarea oţelului) şi din această cauză stratul superior al obiectului va

deveni moale. Acest lucru este foarte dăunător pentru scule şi pentru diferite alte piese.

Trebue remarcat că şi timpul insuficient de menţinere la temperatură are acţiune dăunătoare asupra calităţii piesei, deoarece în acest caz, în primul rând temperatura nu va avea posibilitatea să se egalizeze pe toată secţiunea, iar în al doilea rând trecerea feritei în soluţie solidă nu se face instantaneu şi necesită timp. Dacă timpul de menţinere la temperatura de călire va fi mic, se obţine un oţel călit incomplet. Timpul de menţinere poate fi calculat după cum s'a indicat mai sus, după formula:

$$z=2{,}7\ D^{1{,}5}.$$

Piesele din oţel hipereutectoid, precum şi cele din oţel special, conţinând elemente de aliere ca: wolfram, crom, vanadiu, siliciu, etc., se menţin în cuptor mai mult decât aceleaşi piese fabricate din oţel carbon obişnuit. Aceasta se explică astfel: carburile (cementita din oţelul carbon, carburile de wolfram şi de vanadiu) şi ferita din oţelul special (de exemplu ferita silicioasă) se transformă mai încet în soluţie solidă, cum şi prin faptul că aceste oţeluri au conductibilitatea termică mai scăzută.

Toate cele spuse relativ la încălzire se aplică şi la răcire. Pentru a evita răcirea bruscă, se întrebuinţează des ca mediu de răcire uleiul sau apa încălzită la temperatura de 50—90 °C. Este foarte important ca în intervalul temperaturilor sub 400 °C oţelul să se răcească încet, deoarece în acest caz se ivesc tensiunile cele mai mari. Tensiunile apărute în timpul călirii sunt aşa de mari, încât, după un timp oarecare dela călire, pot provoca crăparea piesei cu o putere destul de mare.

Crăpăturile pot fi şi mici şi să nu pătrundă până în exterior; totuşi ele scad rezistenţa pieselor în timpul lucrului. Deobicei în urma călirii se face revenirea, care scade tensiunile apărute în timpul călirii.

Am vorbit mai înainte că la răcire cu viteza critică, soluţia solidă trece în martensită. Totuşi, dacă viteza de răcire va fi sub viteza critică, alături de martensită se va forma troostită, troostită pură, sau sorbită şi în sfârşit la viteza de răcire mică (de exemplu la răcirea oţelului carbon în aer) soluţia solidă se va transforma în perlită. In aceste împrejurări se poate distinge, în funcţie de structura obţinută, răcirea bruscă, moderată şi înceată, cu toate că această împărţire nu este strict ştiinţifică.

Călirea bruscă se obţine la răcire în apă rece (15—20 °C) şi în soluţii apoase de clorură de sodiu. In acest caz oţelul trebue să obţină structura martensitică (oţelurile aliate se pot căli puternic chiar la răcire în ulei sau în aer).

Călirea moderată se obţine la răcire în apă acoperită cu un strat de ulei de 20—40 mm. Oţelul obţinut are structura troostitică. Troostita reprezintă, asemănător perlitei, un amestec de cementită şi ferită.

Cementita este formată din granule aşa de mici încât sunt greu de observat chiar la microscop. Troostita are o duritate şi fragilitate mai mică în comparaţie cu martensita. In figura 64 se redă microfotografia troostitei cu puţină martensită şi cementită.

Inafară de apă acoperită cu un strat de ulei, călirea moderată se poate realiza cu ajutorul ţiţeiului, păcurii, motorinei, uleiurilor lichide minerale şi vegetale, a apei la temperatura de fierbere.

Călirea înceată se obţine în cazul vitezelor de răcire şi mai mici. Oţelul în timpul acestei căliri dă structura sorbitică (fig. 65). Sorbita reprezintă faza ulterioară a descompunerii soluţiei solide. Sorbita diferă de troostită prin structura mai mare a cementitei, care formează un amestec cu ferita. Totuşi această structură este mai mică (granule mai mici) decât structura perlitei. In ceeace priveşte duritatea, sorbita este inferioară troostitei şi martensitei, apropiindu-se de perlită. Structura sorbitică dă oţelului proprietăţi elastice superioare păstrând odată cu aceasta şi tenacitatea.

In tabela 7 se dă duritatea componenţilor structurali ai oţelului.

Tabela 7

Duritatea componenţilor structurali ai oţelului carbon

Denumirea structurilor	Diametrul amprentei la sarcina de 3000 kg şi diametrul bilei de 10 mm	Duritatea după Brinell
Soluţia solidă (austenită)	4,26—3,83	200—250
Martensită	2,74—2,32	500—700
Troostită	3,51—2,74	300—500
Sorbită	4,26—3,83	200—250
Ferită	6,48—5,87	80—100
Perlită	circa 4,25	circa 200
Cementită	max. 2,32	min. 700

Aceste date se referă la oţel carbon obişnuit. Folosindu-ne de tabela de mai sus şi cunoscând compoziţia chimică a oţelului, se poate spune, înainte de examinarea lui în laboratorul metalografic, ce componenţi structurali conţine oţelul respectiv.

Viteza de răcire şi prin urmare şi rezultatul călirii depind nu numai de lichidul întrebuinţat (apa, ulei) şi de temperatura lui, dar şi de cantitatea de lichid. Se poate realiza călirea înceată chiar în apă rece, dacă aceasta se ia în cantitate mică. Acest fapt se explică prin creşterea apreciabilă a temperaturii lichidului în timpul călirii.

Câteodată piesa, călită nu se răceşte în lichid până la temperatura camerei, ci se scoate la temperatura de 300—400 °C şi apoi se răceşte în aer. In acest caz călirea este însoţită de revenire.

Aceste două operaţii se pot execute împreună pentru piese importante numai în cazul când se păstrează strict regimul de călire, deoarece rezultatul obţinut depinde de timpul de menţinerea piesei în mediul de răcire, o mică variaţie având influenţă asupra proprietăţii oţelului de a putea fi prelucrat.

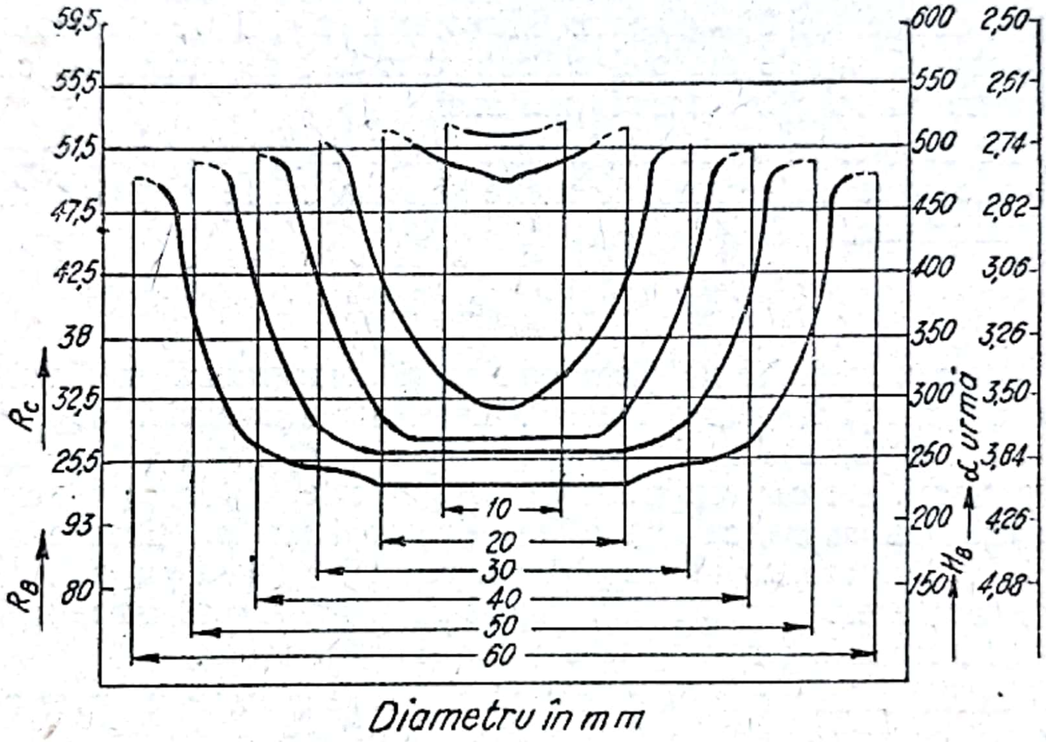


Fig. 66. Diagramele gradului de călire al oţelului carbon cu 0,45% carbon. Călirea la 850 °C, în apă.

Afară de factorii arătaţi mai sus, asupra rezultatului călirii influenţează: compoziţia oţelului, greutatea pieselor ce trebuesc călite şi temperatura de încălzire.

Am arătat mai înainte că în cazul oţelurilor aliate se poate obţine o călire puternică la viteză de răcire mică (răcire în aer).

Pentru oţelul carbon viteza de răcire trebue să fi foarte mare, ceeace, explică dece martensita se formează greu în interiorul pieselor din oţel carbon. Deobicei în aceste piese (dacă sunt mari) se formează la suprafaţă martensita, care în interiorul piesei trece treptat în troostită şi chiar în perlită.

Fig. 66 reprezintă diagrama gradului de călire a oţelului carbon cu 0,45% carbon.

Trebue remarcat că:

1) Oţelul eutectoid se căleşte mai uşor la temperatura ridicată decât oţelul hipoeutectoid şi oţelul hipereutectoid (adică are viteza critică de călire mai mică).

2) Cu cât conţinutul de carbon în oţelul carbon este mai mare, cu atât oţelul are conductibilitate termică mai mică.

In ultimul caz, temperatura se egalizează greu la toată secţiunea piesei. Aceasta duce la concluzia că răcirea în apă a oţelului cu conţinut ridicat de carbon trebue să se facă încet, micşorând răcirea cu un strat de ulei de 20...40 mm. Micşorarea răcirii se realizează şi prin faptul că piesele din oţel cu coţinut ridicat de carbon se călesc la temperaturi pe cât e posibil mai mici.

Mai departe se va insista asupra călirii în trepte, care permite să se micşoreze mult viteza de răcire şi totuşi să se obţină o structură martensitică.

25. Mediul de răcire

Alegerea mediului de răcire potrivit şi temperatura mediului are mare importanţă în călirea oţelului. La alegerea mediului de răcire, trebue să se ţină seama de compoziţia oţelului, de forma şi de dimensiunile piesei. Cu cât conţinutul de carbon este mai mare şi cu cât piesa este mai suţire, cu atât călirea este mai intensă. Trebue să se aibă în vedere următoarea regulă fundamentală: piesa nu se răceşte brusc, dacă acest lucru nu este impus de duritate, deoarece călirea bruscă favorizează formarea tensiunilor şi crăpăturilor.

Pentru a evita formarea crăpăturilor, piesele scumpe de formă complicată şi cu conţinut ridicat de carbon se călesc mai încet decât este necesar.

Piesa cedează în timpul răcirii o parte din căldura ei pentru transformarea în vapori a lichidului ce vine în contact cu ea. Această cantitate de căldură, diferită pentru fiecare lichid, se numeşte căldura de formare a vaporilor. Cu cât temperatura de formare a vaporilor pentru un lichid este mai mare, cu atât călirea este mai puternică. Apa are căldură mare de formare a vaporilor şi din această cauză călirea în apă este puternică.

Pentru ca formarea vaporilor să meargă mai repede şi căldura să fie extrasă mai uşor din piesa ce se căleşte, aceasta se agită într'o cadă de călire, vertical pe axă sau pe circumferinţă, în funcţie de forma piesei. In fabrici, drept mediu de răcire pentru călire se întrebuinţează diferitele lichide ca: apa, soluţii apoase de săruri şi acizi, uleiurile vegetale şi minerale, păcura, etc. Soluţiile de sodă şi de sare de amoniac, se întrebuinţează pentru călirea pieselor cu forme complicate, la care există pericolul desprinderii părţilor separate. Ca mediu de răcire din seria uleiurilor vegetale, se întrebuinţează uleiul de rapiţă,

de cânepă şi de in, iar din seria uleiurilor minerale, uleiurile de transformator şi de maşini. Diferenţa între rezultatele călirii în uleiuri vegetale şi ale călirii în uleiuri minerale, se observă numai în cazul obiectelor subţiri. Uleiul vegetal dă o duritate mai mare. Temperatura mediului de răcire are o mare importanţă. Cu cât ea este mai joasă, cu atât călirea este mai bruscă. Totuşi nu se poate întrebuinţa apa la temperatura sub 15 ... 20 °C, deoarece la temperaturi prea scăzute ea nu măreşte duritatea obiectelor, ci favorizează formarea crăpăturilor. Uleiul căleşte mai slab decât apa.

Deobicei apa conţine o cantitate mică de săruri (săruri de calciu, săruri de magneziu), de care depinde duritatea ei.

Aceste săruri au influenţă dăunătoare asupra călirii şi din această cauză apa cu duritate mică (apa fiartă, apa de ploaie şi apa utilizată) conţinând puţine săruri, căleşte mai bine decât apa proaspătă dela robinet. Clorura de sodiu şi acizii îndepărtează duritatea apei şi din această cauză aceste impurităţi au acţiune favorabilă (de accelerare) în timpul călirii.

Apa acidulată are neajunsul că după călire acoperă piesa cu rugină. Pentru îndepărtarea acestui neajuns, piesa călită se spală în apă cu sodă.

Prezenţa varului, săpunului, alaunilor şi glicerinei în apă scade proprietatea de călire a apei.

Uleiurile pentru călire trebue să fie pure, fără mirosuri străine şi nu trebue să se rezinifice, deoarece în acest caz vor rămâne pe piese, provocând un consum mare de ulei.

Metalele şi sărurile topite se întrebuinţează pentru călirea oţelurilor speciale şi în cazul călirii în trepte pentru piesele din oţel carbon. In acest scop se întrebuinţează des plumbul şi aliajul cu staniu. Deoarece staniul este scump, se recomandă întrebuinţarea unui amestec de săruri. In tabelele 8 şi 9 se dau temperaturile de topire ale unor săruri şi amestecurilor de săruri, care pot fi utilizate ca mediu de răcire în cazul călirii încete, şi ca băi pentru încălzirea pieselor.

Oţelul rapid se mai poate căli în grăsime, uleiuri, ţiţei şi în curent de aer. Răcirea între plăci de fontă sau de oţel se aplică pieselor foarte subţiri (discuri, benzi, pile, etc.). Acest procedeu de răcire exclude îndoirea lor şi le dă în acelaşi timp duritatea necesară.

Lichidele de răcire, după proprietatea lor de călire, se clasează în următoarea ordine:

1) apa la temperatura de fierbere;
2) apa încălzită până la temperatura de 80 °C;
3) ulei de in, cânepă, ţiţei;
4) apa încălzită până la temperatura de 60 °C;
5) acid sulfuric cu concentraţia 95%;
6) apa încălzită până la temperatura de 40 °C;
7) apa încălzită până la intervalul de temperaturi de 0 °C şi 30 °C;

8) soluţia apoasă cu 10…20% acid sulfuric (la temperatura de 20 °C);
9) soluţia apoasă cu 10% clorură de sodiu (20 °C);
10) soluţia apoasă cu 5% hidroxid de sodiu.

Cea mai slabă călire o dă apa încălzită până la fierbere.

Tabela 8

Temperaturile de topire a sărurilor

Denumirea sărurilor	Formula	Temperatura de topire, °C
Azotitul de sodiu	$NaNO_2$	820
Azotatul de sodiu	$NaNO_3$	310
Azotatul de potasiu	KNO_3	340
Cianura de potasiu	KCN	550
Cianura de sodiu	$NaCN$	553
Clorura de calciu	$CaCl_2$	723
Clorura de potasiu	KCl	790
Clorura de sodiu	$NaCl$	810
Soda	Na_2CO_3	850
Potasa	K_2CO_3	910
Clorura de bariu	$BaCl_2$	960

Tabela 9

Temperatura de topire a amestecurilor de săruri

Compoziţia amestecului	Temperaturi de topire, °C	Temperaturi de lucru, °C
Azotatul de sodiu ($NaNO_3$) 55% şi azotit de potasiu ($NaNO_2$) 45%	220	220…482
Azotat de potasiu (KNO_3) 55% şi azotat de sodiu ($NaNO_3$) 45%	218	218…482
Clorură de sodiu ($NaCl$) 28% şi clorură de calciu ($CaCl_2$) 72%	505	537…810
Sodă (Na_2CO_3) 50% şi clorură de potasiu (KCl) 50%	553	592…818
Clorură de sodiu ($NaCl$) 50% şi potasă (K_2CO_3) 50%	553	592…818
Clorură de sodiu ($NaCl$) 35% şi sodă (Na_2CO_3) 65%	620	650…818
Clorură de calciu ($CaCl_2$) 50% şi clorură bariu $BaCl_2$) 50%	600	650…900
Clorură de sodiu ($NaCl$) 22% şi clorură de bariu ($BaCl_2$) 78%	635	680…900
Clorură de sodiu ($NaCl$) 44% şi clorură de potosiu (KCl) 56%	667	705…870

O mare importanţă prezintă indicaţia lui S. S. Steinberg, relativ la faptul că la alegerea mediilor de răcire nu trebue să se pornească numai dela proprietatea de răcire în domeniul temperaturilor înalte, dar să se ia în consideraţie şi viteza de răcire în momentul când austenita trece în martensită. Deoarece această transformare provoacă apariţia tensiunilor, lichidele de răcire trebue să asigure trecerea rapidă a intervalului cu stabilitatea minimă a austenitei. Viteza de răcire trebue să fie mică în domeniul transformărilor martensitice pentrucă o viteză mare de răcire duce la formarea crăpăturilor.

In tabela 10 se trec datele lui S. S. Steinberg relative la viteza de răcire a unor medii de călire în intevralul de temperaturi 650···550 °C şi 300···200 °C.

Tabela 10

Viteze de răcire a unor medii de călire

Mediul de călire	Viteza de răcire în grad/s, în intervalele	
	650 ··· 550°	300 ··· 200°
Apa distilată	250	200
Apa de robinet la temperatura de 18 °C . . .	600	270
„ „ „ „ „ „ 50 °C . . .	200	270
Soluţia de 10% hidroxid de sodiu în apă (la temperatura de 18 °C)	100	300
Soluţia de 10% clorură de sodiu în apă (la temperatura de 18 °C)	1 100	300
Uleiuri minerale (ulei de transformator şi ulei de maşini)	120 ··· 150	25 ··· 30

Din tabela de mai sus se vede că soluţia de 10% clorură de sodiu, care asigură o viteză mare de răcire la început, are aproape aceeaşi viteză de răcire ca şi apa curată în intervalul de temperaturi 300 ··· 200 °C. Această proprietate permite să se recomande soluţia de 10% clorură de sodiu în apă la temperatura de 18 °C pentru călirea oţelului carbon. Adâncimea de călire va fi mai mare şi nu se vor forma crăpături.

In cazul fabricării în serie, pentru a asigura obţinerea pieselor de aceeaşi calitate, temperatura mediului de răcire trebue să fie constantă. Aceasta se realizează întrebuinţând răcirea artificială a lichidului. Pentru aceasta se introduce în cuvă o serpentină formată dintr'o serie de tuburi prin care curge apa (fig. 67), sau lichidul de răcire care trece prin tuburi aşezate în a doua cuvă cu apă. In ultimul caz, procedeul de aducere şi refulare a apei trebue să fie astfel încât lichidul rece să se aducă pe jos, iar lichidul cald să se elimine pe sus.

In cazul acestui procedeu lichidul se mişcă uniform cu aceeaşi temperatură, excluzându-se în acelaşi timp formarea curenţilor reci şi calzi. Deoarece straturile superioare se încălzesc mai repede decât cele inferioare, pentru egalizarea temperaturii în întreaga masă de lichid, se aplică agitarea forţată cu ajutorul pompelor.

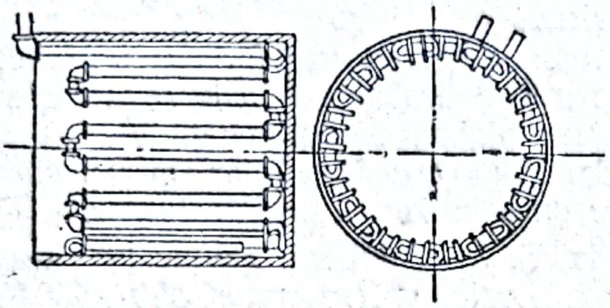


Fig. 67. Serpentina pentru răcirea lichidului.

Câteodată se întrebuinţează cuve cu pereţi dubli între care circulă apa rece.

Uleiul se răceşte relativ repede trecând aer prin el. In fig. 68 se arată o cuvă de călire. Uleiul din cuvă se răceşte cu aerul şi apa, care circulă între pereţii dubli ai cuvei.

Piesele care trebue să aibă duritate mare pe suprafaţa interioară (de exemplu inele pentru calibre, matriţe pentru tras, ştanţe, ciocane) se călesc în curent de apă (fig. 69 şi 70).

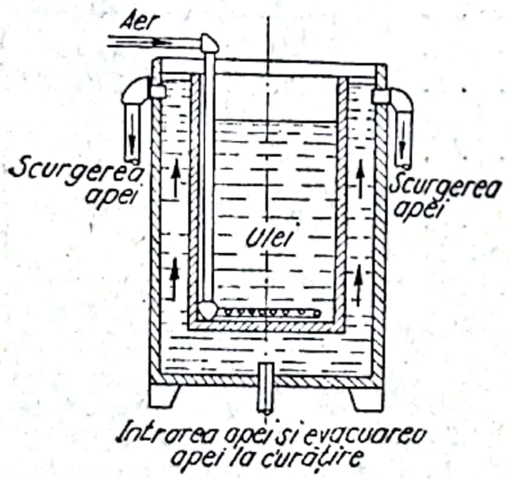


Fig. 68. Cuva de călire cu ulei.

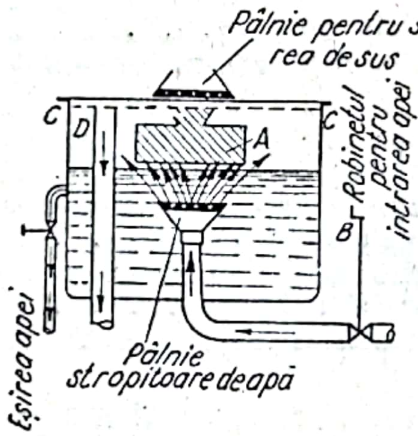


Fig. 69. Răcirea ştanţelor la călire.

Când piesele de serie se călesc în ulei, se utilizează un răcitor special pentru ulei (fig. 71). Uleiul din cuvele de călire intră în rezervor (*1*), apoi în răcitor (*2*). Prin tuburile răcitorului circulă apa rece. Spălând aceste tuburi, uleiul se răceşte parţial şi intră în răcitorul al doilea.

In timpul călirii în ulei, se formează vapori şi produse de ardere ale uleiului. Pentru a elimina acţiunea dăunătoare a acestora, cuvele de călire se prevăd cu ventilatoare.

In prezent, în multe fabrici se utilizează cuve de călire prevăzute cu benzi rulante, de asemenea se utilizează prese în care piesele fixate în dispozitive de strângere, se răcesc în ulei sau în alt lichid.

Procedeele de răcire artificială descrise mai sus, în afară de scăderea temperaturii lichidului, favorizează şi egalizarea temperaturii în toate părţile cuvei. Prin aceasta se realizează uniformitatea de răcire a piesei, micşorându-se pericolul de deformare şi de apariţia crăpăturilor. Odată cu răcirea artificială, trebue să se ţină seama de faptul că cuva de călire trebue să fie încăpătoare, altfel nici prin răcirea artificială a lichidului nu se va putea elimina ridicarea temperaturii.

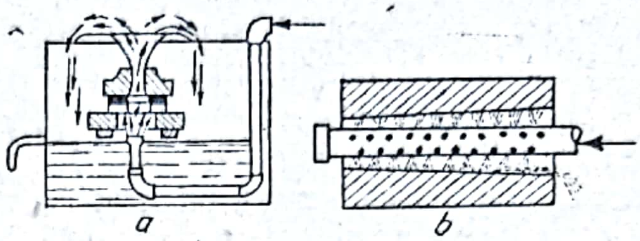


Fig. 70. Dispozitiv cu curent de apă pentru răcirea suprafeţei interioare a pieselor:
a — piese scurte; *b* — piese lungi.

Impreună cu temperatura mediului de răcire, asupra calităţii călirii influenţează şi durata de răcire care trebue să fie suficientă pentru a răci piesa atât în exterior, cât şi în interior. In caz contrar căldura

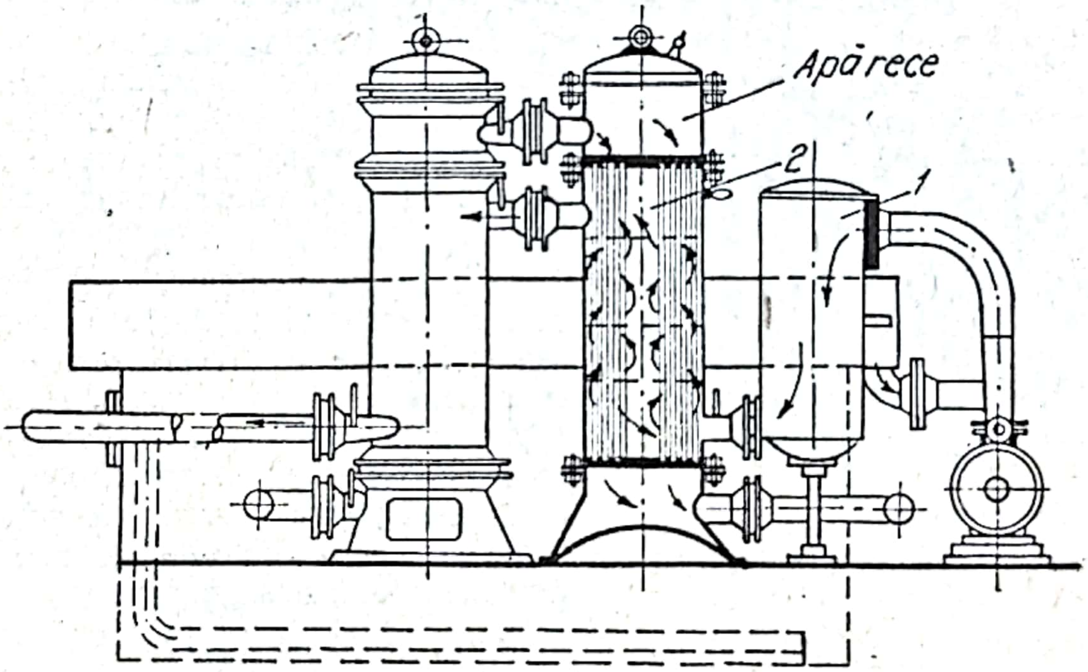


Fig. 71. Răcitor pentru ulei.

care vine din straturile interioare ale obiectului încălzeşte straturile exterioare şi le înmoaie (autorevenire).

26. Defectele oţelului datorite călirii

Crăpături de călire. In timpul călirii apar foarte des crăpături în piese. Apariţia crăpăturilor se datoreşte:

1) încălzirii sau răcirii neuniforme;
2) schimbărilor structurale ce iau naştere în oţel;

3) defectelor care apar la turnarea şi laminarea oţelului, transmiţându-se pieselor;

4) încălzirii şi răcirii rapide (tensiuni datorite căldurii).

In timpul încălzirii şi răcirii oţelului au loc schimbări de volum, care depind de temperatura şi de transformările structurale din oţel.

In timpul încălzirii pieselor (mai ales din oţeluri speciale), căldura se transmite încet dela un strat la celălalt (conductibilitate termică mică). Din această cauză un strat de metal se dilată, iar celălalt strat rămâne cu volumul anterior sau se dilată foarte puţin. Acest fenomen provoacă tensiuni care pot duce la crăpături. Acelaşi lucru se întâmplă şi în cazul răcirii, numai că aci tensiunile se nasc datorită faptului că stratul superior se contractă, iar stratul inferior, neputând să se răcească, rămâne fără transformări.

Dacă se încălzesc sau se răcesc piese de formă complicată, părţile lor subţiri şi groase îşi schimbă neuniform temperatura şi în mod corespunzător cresc sau se micşorează neuniform ca volum.

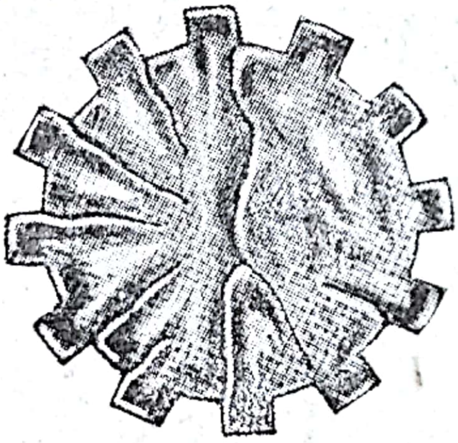


Fig. 72. Crăpături pe roata angrenajului.

Această schimbare neuniformă a volumului părţilor separate ale piesei provoacă apariţia tensiunilor. Pentru a le evita, piesele complicate se încălzesc încet şi nu se supun călirii brusce.

Ca regulă generală, crăpăturile se formează între ieşiturile pieselor, sau în locurile cu treceri brusce în grosime, sau în locuri abrupte. Fig. 72 reprezintă secţiunea transversală a roţii de angrenaj cu şanţuri frezate. In această figură se vede că crăpăturile au apărut datorită unghiurilor prea ascuţite ale şanţurilor.

Pentru a evita formarea crăpăturilor, trecerile brusce din piese se netezesc, iar dacă aceste modificări nu sunt posibile, se recomandă întrebuinţarea mediilor de răcire mai slabe. In acest caz, viteza de răcire în locurile periculoase se micşorează prin ungerea locurilor corespunzătoare cu un amestec de argilă şi cretă sau prin înfăşurarea cu un şnur de asbest.

Fig. 73 prezintă un alt caz de formarea crăpăturilor, în timpul călirii în apă a arborelui cotit executat din oţel cu crom şi nichel.

Tensiunile ce iau naştere în piese la temperaturi ridicate nu sunt prea periculoase, deoarece oţelul la aceste temperaturi este foarte plastic. La temperaturi joase oţelul este mai puţin plastic şi din această cauză apariţia crăpăturilor este mai probabilă.

In timpul răcirii rapide, austenita se transformă în martensită. Această transformare este însoţită de creşterea volumului. Pentru obţinerea martensitei la călirea oţelului carbon, viteza de răcire trebue să fie de 120...150 °C/s. Viteza la care apare structura martensitică cu cantitate mică inevitabilă de austenită reziduală, se numeşte viteză critică de răcire.

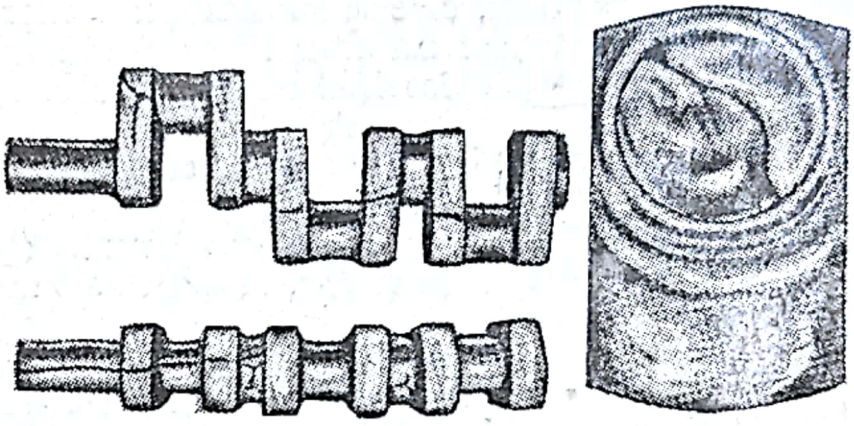


Fig. 73. Propagarea crăpăturilor în timpul călirii arborelui cotit.

Fig. 74 şi 75 conţin fotografiile microstructurilor unei epruvete metalografice de oţel călit şi atacat conţinând 1,34% carbon. Miezul (inima) acestei probe conţine troostită, cementită şi o cantitate mică de martensită (fig. 74), partea exterioară conţine martensită şi cementită, iar stratul intermediar conţine martensită, troostită şi cementită (fig. 75).

Acest fenomen provoacă tensiuni mari care vor fi explicate după ce se vor cunoaşte variaţiile de volum care iau naştere în timpul transformărilor structurale ale oţelului.

In fig. 76 se găsesc curbele de variaţie ale volumului în funcţie de transformările structurale şi în funcţie de variaţiile de temperatură. Curba *I* dă variaţia volumului oţelului în timpul încălzirii încete [1]). In punctul Ar_1 (transformarea soluţiei solide în perlită) oţelul se dilată brusc, prezintă un salt, dar răcirea ulterioară va fi însoţită de contracţie uniformă. Aspectul curbei se schimbă brusc, dacă răcirea se face repede. Curba II reprezintă schimbarea volumului în cazul răcirii rapide. Se vede că contracţia până în punctul M_n (punctul unde începe să se formeze martensita, după S. S. Steinberg) decurge uniform. Dela punctul mar-

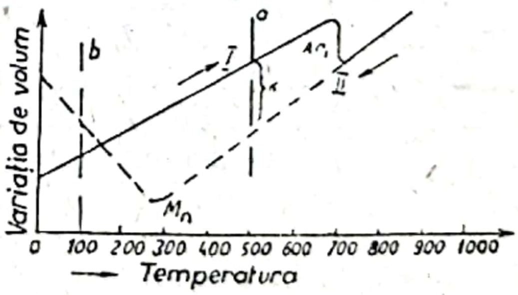


Fig. 76. Curbele de variaţie ale volumului oţelului.

[1]) In timpul răcirii, direcţia săgeţii trebue schimbată în sens contrariu.

tensitic M_n oţelul începe să se dilate uniform şi soluţia solidă trece în martensită.

Dacă se ia în considerare poziţia „*a*" de pe curbele de variaţie ale volumului oţelului şi se urmăresc transformările care au loc în oţel în timpul răcirii, se constată că diferenţa dintre volumul soluţiei solide (în cazul răcirii rapide, aceasta nu se schimbă până la punctul M_n) şi volumul perlitei sau troostitei, care se formează în interior (fig. 77), este egală cu *K*. Miezul (format din troostită sau perlită) va întinde învelişul constituit din soluţia solidă, dar soluţia solidă este mai plastică şi din această cauză nu se vor forma crăpături.

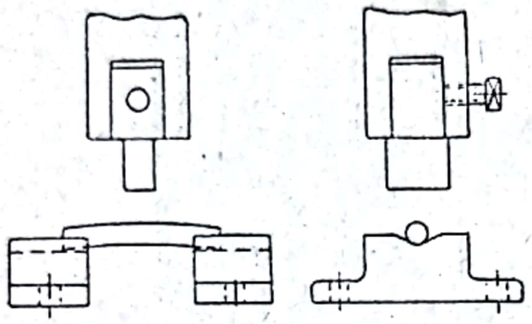


Fig. 78. Indreptarea pieselor la presă.

Altfel stau lucrurile în cazul poziţiei „*b*". In acest caz, miezul tinde să se contracte în timp ce învelişul martensitic se dilată şi astfel în stratul intermediar se formează tensiuni care pot duce la apariţia crăpăturilor.

Prezenţa incluziunilor de sgură şi a crăpăturilor mici rămase dela laminare în piese, provoacă în aceste locuri apariţia tensiunilor mari, care duc la formarea crăpăturilor.

Variaţia dimensiunilor şi deformarea pieselor la călire

In timpul călirii se obţine martensita care are un volum mai mare decât componenţii structurali ai oţelului necălit (ferita şi perlita), din care cauză obiectul îşi va schimba dimensiunile după călire. Neajunsul se poate remedia, dacă nu se cere respectarea dimensiunilor exacte. Dar acest lucru nu se poate admite în cazul când piesele trebue să aibă dimensiuni precise, conform destinaţiei lor.

Variaţia dimensiunilor se poate evita parţial aplicând călirea moderată sau călirea dublă. Călirea dublă se efectuează în următoarele condiţii: prima călire se face în ulei după ştanţare, forjare sau laminare, urmată apoi de recoacere pentru a uşura prelucrarea la dimensiunile finale pe maşini unelte, iar la sfârşit are loc a doua călire. După a doua călire, obiectele îşi schimbă mai puţin dimensiunile şi forma.

Aceasta se explică prin faptul că ştanţarea, forjarea sau laminarea provoacă tensiuni interne, care în timpul primei încălziri dispar, provocând îndoirea corespunzătoare. Dacă după tratamentul mecanic corespunzător, aceste piese se călesc a doua oară, ele îşi schimbă forma mult mai puţin.

In momentul de faţă nu există încă reguli cu ajutorul cărora să se determine dinainte în ce fel îşi va schimba oţelul dimensiunile lui.

In unele cazuri obiectele se micşorează în lungime şi cresc în grosime şi lăţime, iar în alte cazuri are loc din contră, creşterea în lungime. Piesele din oţel aliat se lungesc aproape în toate cazurile. Piesele îndoite se îndreaptă sau la presă (fig. 78) sau manual cu ajutorul ciocanului (fig. 79).

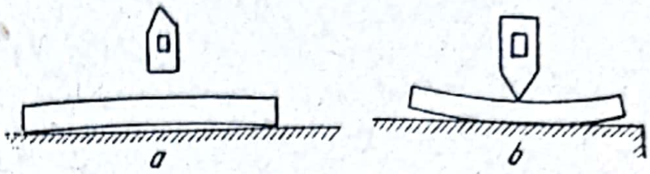


Fig. 79. Indreptarea pieselor cu ajutorul ciocanului:
a — din partea convexă;
b — din partea concavă.

Câteodată piesele se îndreaptă foarte repede, bătând cu ciocanul din partea concavă şi nu din partea convexă. Aceasta se aplică cu succes în special la îndreptarea benzilor (fig. 79). Inainte de îndreptare, se recomandă ca piesa să fie încălzită până la temperatura de 100…150 °C.

27. Călirea superficială

De foarte multe ori, piesele trebue să aibă duritate ridicată numai în anumite locuri ale suprafeţei lor. Aceasta se poate realiza prin cementare şi nitrurare (Cap. VII). Totuşi aceste procese au o serie de neajunsuri importante şi sunt costisitoare.

In prezent se întrebuinţează pe o scară largă, călirea superficială. Ea prezintă o serie de avantaje: dă posibilitatea ca încălzirea să se facă foarte repede, se obţine o duritate mare pe suprafaţă păstrând miezul tenace, împiedică îndoirea şi permite călirea locală. Marele avantaj al călirii superficiale este rentabilitatea, din cauză că în loc să se încălzească toată piesa până în interior, se încălzeşte numai stratul superficial.

In cazul călirii superficiale încălzirea se poate face cu ajutorul flăcării oxi-acetilenice, curentului de înaltă frecvenţă, curentului electric prin procedeul de contact şi curentului electric într'o baie de electroliţi. Călirea superficială poate fi realizată în maşini speciale. In acest scop piesele se încălzesc în cuptoare, apoi se supun răcirii repezi într'un timp determinat în maşini de călire. In cazul acestei căliri miezul rămâne moale. La călirea superficială se întrebuinţează oţelul cu granule mici, ceeace elimină în mare măsură pericolul supraîncălzirii şi apariţiei crăpăturilor.

Incălzirea cu ajutorul flacării oxi-acetilenice. In cazul încălzirii oxi-acetilenice (fig. 80) piesa se încălzeşte la suprafaţă, apoi se răceşte în funcţie de compoziţia chimică, cu apă, ulei sau în aer.

Din cauză că suprafaţa oţelului se încălzeşte repede şi granulele nu au timpul necesar să crească până la dimensiune mare, temperatura de călire se ridică cu 70…100 °C deasupra punctului Ac_3. In urma călirii suprafaţa capătă o duritate mai mare, în timp ce miezul

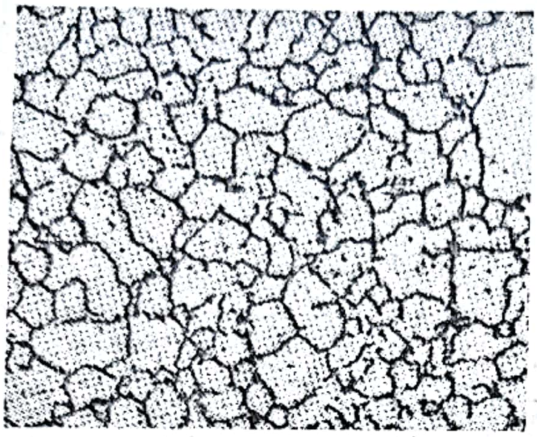


Fig. 55. Oţel hipereutectoid după atacare cu picrat de sodiu.



Fig. 59. Structura martensitică a oţelului.

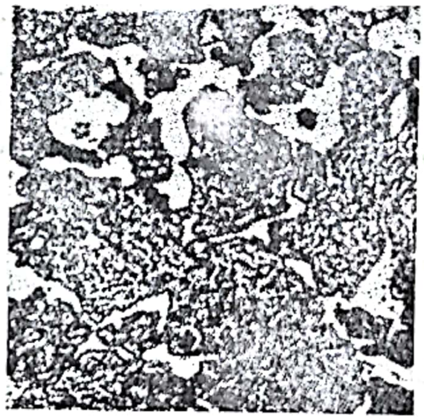


Fig. 61. Microstructura oţelului cu 0,40% C, călit între punctele Ac_1 şi Ac_3 (martensita şi ferita).

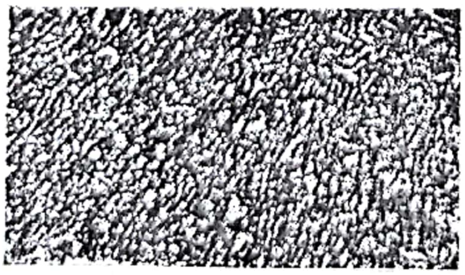


Fig. 63. Oţel hipereutectoid, călit între punctele Ac_1 şi Ac_{ot} (martensita şi cementita).



Fig. 64. Troostita plus martensita plus cementita sub formă de granule.

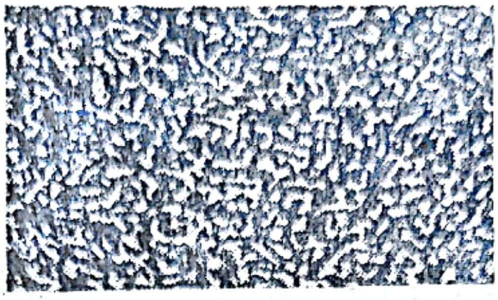


Fig. 65. Structura sorbitică a oţelului.

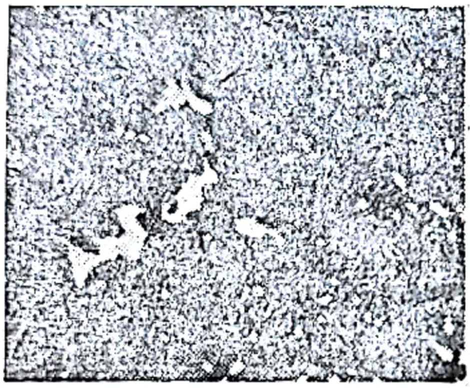


Fig. 74. Epruvetă de oţel cu 1,34% C, călit (troostita plus porţiuni mici de martensită şi cementita sub formă de granule lucioase).

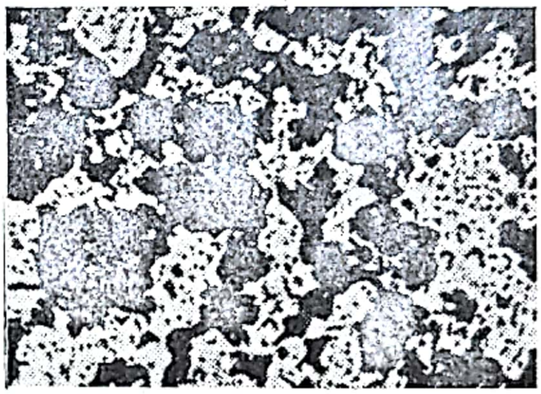


Fig. 75. Idem ca şi la fig. 74. Stratul intermediar format din troostită plus martensită plus cementită.

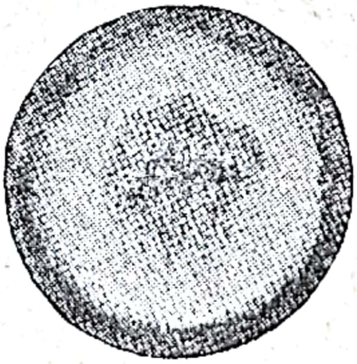


Fig. 77. Epruvetă de oţel hipereutectoid cu 1,34% C, călit (aspectul şaibei după atacare).

piesei păstrează duritatea iniţială. Mediul de răcire trebue să fie bine ales, corespunzător cu felul oţelului.

In timpul lucrului, suprafaţa piesei trebue să se găsească la distanţă de 2···3 mm de vârful conului flăcării iar distanţa între capătul arzătorului şi capătul tubului de alimentare cu apă nu trebue să depăşească 8···15 mm (acest lucru se găseşte în fiecare caz izolat, prin încercări). Adâncimea stratului călit poate varia dela 2 la 15 mm. Cu cât distanţa între capătul arzătorului plat şi capătul tubului de alimentare cu apă este mai mare şi cu cât viteza de lucru este mai mică, cu atât adâncimea de călire este mai mare. Viteza de lucru variază în limitele 100···200 mm/min. Incălzirea suprafeţelor late se face cu ajutorul mai multor arzătoare cu flacără plată.

Raportul dintre cantitatea de oxigen şi cantitatea de acetilenă are mare importanţă pentru calitatea călirii superficiale. Rezultatele cele mai bune se obţin în cazul raportului 1 : 1. La exces de oxigen, apar crăpături foarte fine, care se descoperă numai prin atacare adâncă.

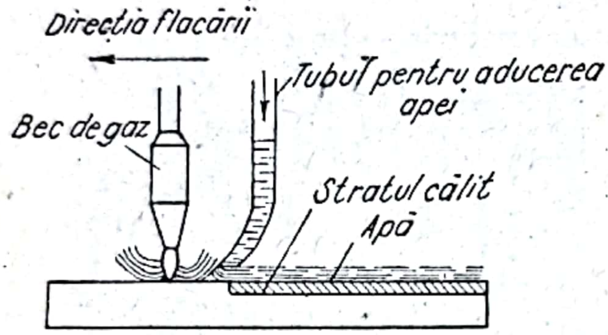


Fig. 80. Schema călirii unei piese plate cu ajutorul flăcării oxi-acetilenice.

Marele neajuns al călirii superficiale cu ajutorul flăcării oxiacetilenice constă în lipsa aparatelor eficace pentru măsurarea temperaturilor.

Incălzirea cu ajutorul curentului de înaltă frecvenţă, după metoda lui V. P. Vologdin. Metoda de încălzire a oţelului cu ajutorul curentului de înaltă frecvenţă studiată şi propusă de membrul corespondent al Academiei de Ştiinţe, V. P. Vologdin, se bazează pe următoarele: dacă în apropierea piesei de oţel se trece printr'un conductor un curent alternativ de înaltă frecvenţă, atunci în special în stratul superficial al obiectului se vor naşte curenţi care vor provoca încălzirea. După răcirea rapidă a suprafeţei încălzite până la temperatura de călire, se obţine un strat călit, a cărui adâncime depinde de timpul de trecere şi de frecvenţa curentului.

Drept conductor de curent (inductor) serveşte un tub gol de cupru răcit în interior cu apă (fără răcire, conductorul se încălzeşte foarte puternic).

Cu ajutorul curentului de înaltă frecvenţă se pot încălzi nu numai suprafeţele exterioare, dar-şi suprafeţele interioare şi obiectele de formă complicată. Pentru încălzirea suprafeţei interioare a unui obiect de formă cilindrică, în interiorul lui se introduce inductorul, prin care se trece curentul de înaltă frecvenţă. Pentru încălzirea roţilor dinţate, inductorul se execută sub formă de inel a cărui circumferinţă este identică cu cea a roţii dinţate, formând un joc (spaţiu) de 0,5 ... 1 mm.

Trecând prin inductor curentul de înaltă frecvenţă, dinţii se încălzesc la suprafaţă până la temperatura de călire, după care roata dinţată se introduce în ulei sau în apă. Incălzirea suprafeţei obiectului până la temperatura de călire se realizează în timp de câteva secunde.

Nu se poate încălzi deodată toată suprafaţa de călit, deoarece acest lucru necesită întrebuinţarea unor instalaţii costisitoare şi puternice. Costul instalaţiei poate fi redus folosind metoda călirii ulterioare, care constă în deplasarea inductorului în mod treptat dela un capăt la celălalt (fig. 81). Inductorul poate fi fix, iar obiectul mobil cu o mişcare de translaţie. Porţiunile încălzite se răcesc cu apă. Variind viteza de mişcare a inductorului sau a piesei, se pot obţine diferite adâncimi ale stratului călit. Metoda încălzirii consecutive permite să se facă călirea tablelor, şinelor, etc.

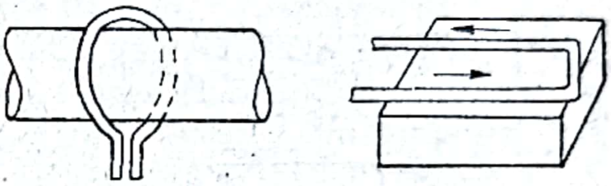


Fig. 81. Schema călirii unei piese cilindrice şi a unei piese plate cu ajutorul unei spire.

Călirea superficială după metoda lui Vologdin se aplică pe o scară largă în industrie.

Incălzirea cu ajutorul curentului electric, după metoda lui N. V. Geveling. Profesorul N. V. Geveling a propus ca încălzirea suprafeţei obiectului să se facă cu ajutorul curentului electric adus la suprafaţă cu ajutorul rolelor alunecătoare. Snb influenţa curentului electric, materialul se încălzeşte repede până la temperatura dată. S'a constatat că în locurile cu carburi, se naşte rezistenţa care duce la ridicarea temperaturii şi la disolvarea rapidă a carburilor în soluţie solidă. Călirea se face cu ajutorul unui electrod mare (rolă) şi a metalului rece.

Rolele late nu se întrebuinţează, deoarece ele nu asigură un contact strâns între rolă şi suprafaţa ce urmează să fie tratată termic. Afară de aceasta, în cazul rolelor late, este nevoie de transformatori de putere mare.

Dacă obiectul se roteşte (de exemplu la strung), iar rolele se mişcă pe o linie în spirală (şurub), astfel ca acestea, după fiecare turaţie a obiectului, să acopere parţial stratul deja călit, se obţine o suprafaţă călită după o linie în spirală. La punctul de contact se formează o făşie mică revenită, ceeace constitue unul din neajunsurile acestei metode de călire superficială. Avantajul metodei lui Geveling constă în preţul de cost redus şi în simplitatea instalaţiei.

Călirea cu ajutorul curentului electric, în jet de electrolit. Călirea superficială cu ajutorul curentului electric, în jet de electrolit a fost realizată de inginerul Iasnogoroţchi în una din uzinele de tractoare. Incălzirea piesei în rotaţie se face cu ajutorul curentului care trece printr'o soluţie de 5···15% sodă calcinată (Na_2CO_3) ce se încălzeşte până la temperatura de 60 °C şi se scurge într'un jet dintr'o canulă. Trecând prin electrolit (soluţie), curentul încălzeşte puternic suprafaţa

în locul de atingere a obiectului cu electrolitul. Aceasta se explică prin formarea în jurul obiectului a unui înveliş de hidrogen care, având o rezistenţă electrică mai mare, provoacă încălzirea metalului. Răcirea se face cu acelaşi electrolit.

28. Călirea isotermică şi călirea în trepte a oţelului

In prezent s'a stabilit că asupra gradului şi produsului de descompunere a austenitei suprarăcite, adică asupra obţinerii componenţilor structurali, influenţează temperatura şi timpul de menţinere isotermică. In legătură cu această problemă a adus un mare aport în ştiinţă S. S. Steinberg împreună cu şcoala lui (V. D. Sadovschi, V. I. Ziuzin ş. a.). In funcţie de temperatura de suprarăcire, austenita se poate transforma în martensită, în troostită, în sorbită sau în perlită. Viteza de transformare nu este aceeaşi şi depinde de temperatura de suprarăcire. Cele spuse mai sus se evidenţiază prin curbele din fig. 82, care caracterizează începutul şi sfârşitul descompunerii austenitei suprarăcite la diferite tempetaturi (A. P. Guleaev).

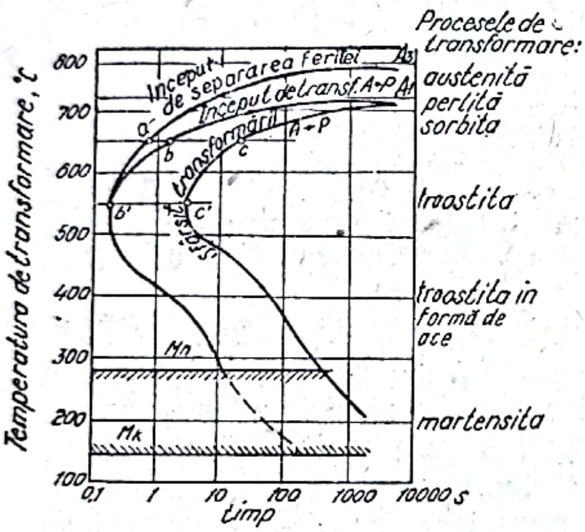


Fig. 82. Diagrama transformării isotermice a austenitei în oţel cu 0,5% C.

Din diagramă se vede că menţinând austenita suprarăcită la temperatura de circa 700 °C ea se transformă în perlită (plus ferita în oţeluri hipoeutectoide). In cazul scăderii temperaturii de transformare isotermică apare treptat sorbita, troostita, troostita sub formă de ace şi în sfârşit la temperatura sub 300 °C apare martensita.

Curbele isotermice au fost date la început sub forma literei *S*, dar mai târziu, datorită lucrărilor învăţatului rus S. S. Steinberg, ele au fost precizate şi în prezent au aspectul literei *C* (S. S. Steinberg a pus bazele noţiunilor teoretice ale tratamentului isotermic al oţelului). Temperatura începutului transformării austenitei în martensită a fost notată de S. S. Steinberg cu litera M_n, iar temperatura sfârşitului transformării cu litera M_k. Aceste temperaturi depind de compoziţia chimică a oţelului şi în special de conţinutul în carbon. Influenţa carbonului se vede bine din curbele construite după datele diferite ale lui A. P. Guleaev şi arătate în fig. 83. Cu cât conţintuul în carbon este mai mare, cu atât punctele M_n şi M_k se găsesc mai jos.

S. S. Steinberg a arătat că viteza de răcire sub punctul M_n nu are importanţă, deoarece în toate cazurile aproape toată austenita

se transformă în martensită. O răcire mai puternică sub punctul M_n micşorează cantitatea austenitei reziduale, adică favorizează formarea martensitei.

Formarea martensitei în oţeluri cu conţinut ridicat de carbon se termină la temperaturi negative (sub zero).

Stabilitatea austenitei la temperaturi ridicate se foloseşte în industrie pentru aplicarea călirii isotermice sau călirii în trepte. Călirea în trepte constă în răcirea pieselor, la început până la temperatura stabilităţii maxime a austenitei (temperatura depinde de compoziţia chimică), iar după aceea până la temperatura camerei. Această metodă asigură obţinerea structurii martensitice.

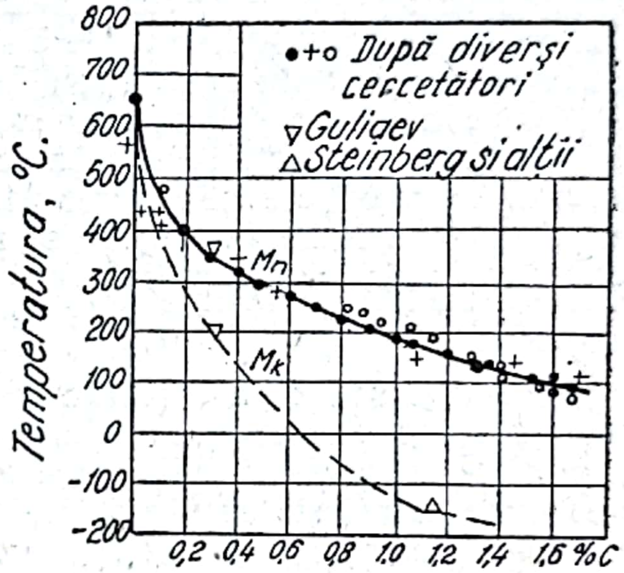


Fig. 83. Poziţia temperaturii începutului (M_n şi sfârşitului (M_k) transformării martensitice, în funcţie de conţinutul de carbon.

Trebue remarcat că încă în anul 1885, D. C. Cernov a stabilit că oţelul de obuze se căleşte şi are aceeaşi duritate ca şi oţelul călit în apă, dacă răcirea bucăţii călite se face în aliaj de staniu şi plumb la temperatura de 195···200 °C[1]). Această descoperirea lui D. C. Cernov nu a fost luată în consideraţie şi numai acum se utilizează răcirea în trepte. Ea permite într'o mare măsură eliminarea tensiunilor care iau naştere în timpul călirii obişnuite, micşorarea numărului de crăpături şi eliminarea parţială a defectelor datorite îndoirii pieselor. Călirea în trepte se poate aplica cu succes oţelurilor aliate, care necesită o viteză de răcire mică pentru suprarăcirea austenitei. Pentru oţeluri carbon şi oţeluri slab aliate, această viteză trebue să fie mare şi din această cauză călirea prin acest procedeu se poate aplica numai pieselor cu grosime mică.

In ultimul timp, pentru călirea în trepte se întrebuinţează băi cu cloruri sau cu plumb, încălzite la diferite temperaturi.

Temperatura băii se poate alege astfel ca în timpul egalizării temperaturii în toată secţiunea piesei, austenita să nu se descompună. In acest caz, la răcirea ulterioară a piesei în aer, austenita se transformă în martensită pe toată secţiunea în acelaşi timp, fără să provoace apariţia tensiunilor mari. Intrebuinţarea băii cu cloruri drept mediu de răcire pentru călirea pilelor triunghiulare mici din oţel carbon

---

[1]) D. C. Cernov. Despre fabricarea obuzelor de oţel contra blindajelor, Editura Societăţii Metalurgice Ruse, 1915.

cu 0,85 ... 0,95% carbon a redus în una din fabrici aproape complet rebutul, în timp ce la călirea obişnuită rebutul ajungea până la 60 ... 80%.

Trebue să se observe ca temperatura băii de răcire să fie puţin deasupra temperaturii începutului transformării austenitei în martensită (M_n).

In fabricile din U.R.S.S. băile cu cloruri sau azotaţi se întrebuinţează în general încălzite la temperatura de 210 ... 220 °C. Piesele se ţin în baie minimum 5 minute; timpul maxim de menţinere depinde de dimensiunile pieselor şi temperatura băii. De exemplu piesele cu diametrul de 50 mm se recomandă să se menţină timp de 6 minute la temperatura de 210 °C, timp de 5 minute la temperatura de 250 °C şi timp de 4 minute la temperatura de 300 °C. Piesele cu diametrul de 75 mm se menţin potrivit temperaturilor de mai sus timp de 14, 12 şi 11 minute. Aceste date trebuesc privite ca date de orientare şi durata de menţinere trebue precizată experimental. După menţinerea corespunzătoare în baie, obiectele se răcesc în aer. Nu se recomandă accelerarea răcirii, deoarece se pot forma crăpături. Pentru îndepărtarea sărurilor după răcire piesele se spală în apă la temperatura de fierbere.

Metoda descrisă mai sus poate fi aplicată în cazul pieselor masive fabricate din oţeluri cu austenită destul de rezistentă în timpul răcirii lor până la temperatura băii. Aceasta este foarte important pentru miez, care se răceşte cu viteză mai mică în comparaţie cu straturile exterioare. Pentru a aplica această metodă în cazul oţelului a cărui austenită este puţin rezistentă, piesele se răcesc la început foarte repede (de ex. în apă), apoi se trec în baia cu cloruri cu temperatura de 210 °C. Se observă că prin acest procedeu călirea în ulei se poate înlocui cu călirea în apă, dar trebue să se observe ca toată apa de pe suprafaţa pieselor să se evaporeze înainte de introducerea lor în baia cu clorură. In caz contrar poate avea loc o explozie.

Pentru băile de răcire pot fi utilizate următoarele amestecuri de săruri:

1) 35% azotat de potasiu (KNO_3) + 35% azotit de sodiu ($NaNO_2$) + 30% azotat de bariu Ba (NO_3)$_2$. Temperatura de topire a acestui amestec este 160 °C.

2) 43% azotat de potasiu (KNO_3) + 32% azotit de sodiu ($NaNO_2$) + 7% azotat de bariu $Ba(NO_3)_2$ + 9% azotat de stronţiu Sr (NO_3)$_2$ + 9% azotat de calciu $Ca(NO_3)_2$. Temperatura de topire a amestecului este 100 °C.

3) 30% azotat de potasiu (KNO_3) + 20% azotit de sodiu ($NaNO_2$) + 10% azotit de litiu ($LiNO_2$) + 10% azotat de bariu $Ba(NO_3)_2$ + 30% azotat de stronţiu $Sr(NO_3)_2$. Teperatura de topire a amestecului este 125 °C.

Pentru a evita formarea crăpăturilor în timpul călirii pieselor masive cu formă complicată, se aplică călirea cu întrerupere. Această călire constă în faptul că piesele nu se răcesc complet în baia de

călire, ci se scot când temperatura lor atinge 250···300 °C. Apoi, piesele se răcesc în ulei sau în aer, sau se trec în cuptor pentru revenire. Această călire permite să se micşoreze viteza de răcire a oţelului în perioada când soluţia solidă se transformă în martensită. Momentul scoaterii piesei din cuvă se poate stabili în mod practic cu ajutorul unui cuplu termic de suprafaţă, după evaporarea rapidă a lichidului de răcire de pe suprafaţa piesei, procedeu care necesită un personal rutinat. Temperatura de scoatere a oţelului depinde de compoziţia lui chimică. Pentru oţeluri cu crom, nichel şi molibden, timpul cel mai potrivit de menţinere în mediul de răcire se poate stabili în modul următor: dacă chibritul trecut pe suprafaţa piesei se aprinde imediat, piesa mai trebue ţinută în mediul de răcire; dacă chibritul produce scântei, dar nu se aprinde, timpul de menţinere în cuvă trebue redus. Astfel, cu ajutorul unei piese sau a două piese se poate stabili timpul de menţinere în mediul de călire.

Pentru a micşora tensiunile care iau naştere la formarea martensitei şi pentru a obţine o piesă bine călită în secţiune, se recomandă aplicarea călirii cu întrerupere, cu mai multe afundări. Piesele mari se ţin la început în cuva de călire timp de 40···80 secunde, apoi se scot în aer pentru 1,5···2 minute, se răcesc din nou în cuvă timp de 30···40 secunde ş. a. m. d. Cu cât forma obiectului este mai complicată, cu atât afundarea se face mai des şi durata de menţinere în cuvă se micşorează. Prin alegerea pe cale experimentală a timpului de menţinere a pieselor în cuva de răcire şi în aer se poate ajunge la concluzia că nu se vor forma crăpături chiar în cazul călirii pieselor cu construcţie foarte complicată, a pieselor mari şi a oţelurilor care crapă mai repede.

29. Tratarea oţelului călit la temperaturi sub 0 °C (negative)

S'a arătat mai înainte că, oţelul conţine după călire o anumită cantitate de austenită. Prezenţa austenitei în oţelul călit scade proprietăţile oţelului şi provoacă schimbarea treptată a dimensiunilor în timpul funcţionării pieselor.

Prof. A. P. Guleaev [1]) a stabilit că austenita reziduală trece aproape complet în martensită dacă după călire piesele se vor răci până la temperaturi sub 0 °C.

Tratarea la temperaturi sub 0 °C micşorează variaţia dimensiunilor în timpul funcţionării pieselor ceeace are mare importanţă, de exemplu în cazul roţilor dinţate, şuruburilor conducătoare, etc. Tratarea oţelului la temperaturi sub 0 °C ridică rezistenţa la rupere şi rezistenţa la

---

[1]) A. P. Guleaev. Tratarea oţelurilor la temperaturi sub 0 °C, — „Vestnic injenerov tehnico", 1946, Nr. 4···5.

uzură cu 15···30%. După tratarea oţelului variaţia dimensiunilor este aşa de mică, încât se găseşte în limitele preciziei de măsurare.

S'a descoperit că tratamentul la temperaturi sub 0 °C favorizează transformarea aproape completă a austenitei în martensită, în special dacă această operaţie se face înainte de revenire, imediat după călire. Totuşi trebue să se ia în consideraţie că transformarea austenitei în martensită este însoţită de apariţia tensiunilor suplimentare, şi acestea pot duce la formarea crăpăturilor în oţelul care nu a fost supus revenirii. In legătură cu aceasta se recomandă în cazul pieselor complicate ca o parte din tensiuni să fie scoase în prealabil prin revenire la temperatură joasă. Incălzirea pentru revenire nu se poate face în baie de ulei, deoarece uleiul rămas pe piese poate provoca explozii în timpul introducerii pieselor în aer *lichid*.

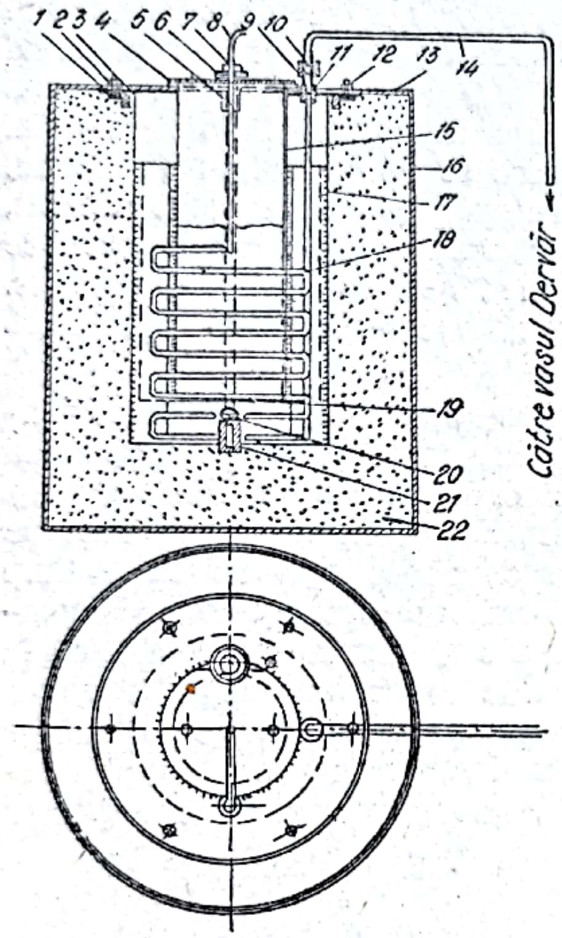


Fig. 84. Schema instalaţiei pentru tratare la temperaturi sub 0°C (negative): *1* — disc; *2* — piuliţă; *3* — garnitură de asbest; *4* — capac; *5* — bucşă; *6* — rondelă; *7* — prezon; *8* — cot; *9* — piuliţă; *10* — piesă de legătură; *11* — bucşă; *12* — bulon; *13* — capac; *14* — tub; *15* — creostit; *16* — carcasă; *17* — pahar; *18* — serpentină; *19* — ax; *20* — prezon; *21* — crapodină; *22* — pământ de formare.

Temperatura corespunzătoare poate fi obţinută cu ajutorul gheţei uscate, a oxigenului lichid sau a aerului lichid. Instalaţia (fig. 84) pentru tratarea la temperaturi sub 0 °C nu este complicată şi poate fi adoptată în orice uzină de construcţii de maşini.

Menţinerea oţelului la temperaturi negative trebue să fie astfel încât să se asigure răcirea uniformă în toată secţiunea. Pentru majoritatea pieselor este suficient în acest scop 60···120 minute. Piesele cu formă complicată se răcesc treptat, de exemplu la început până la temperatura de —20 grade.

In tabela **11** se dă duritatea oţelului cementat după 60 şi 120 minute de menţinere în oxigen lichid, după datele lui N. D. Asonov [1]). Roţile dinţate se cementează, se călesc şi se supun revenirii la temperatura de 180 °C, apoi se supun răcirii în oxigen lichid.

Se recomandă să se supună tratamentului la temperaturi negative aparatele de măsură şi sculele tăietoare cum şi detaliile de construcţie.

---

[1]) N. D. Asonov, Tratamentul termic al pieselor de automobil, Maşghiz, 1948.

Tabela 11

Variaţia durităţii oţelului în funcţie de timpul de menţinere în oxigen lichid

Duritatea după călire	Duritatea după o menţinere de 60 min.	Duritatea după o menţinere de 120 min.
48,5	56	65,5
50	56,5	60,5
50,5	56	62,5
51,5	56	63
49,5	56,5	65,5

Primele lucrări în legătură cu tratarea la temperaturi sub 0 °C (negative) au fost executate de S. S. Steinberg, N. A. Minchevici, A. P. Guleaev, ş. a.

30. Gradul de călire al oţelului (sensibilitatea la călire)

De foarte multe ori este nevoie să se determine adâncimea de călire a diferitelor oţeluri. Gradul de călire (sensibilitatea la călire) se numeşte proprietatea oţelului de a fi călit (adică de a căpăta o duritate ridicată) în adâncime. Gradul de călire are importanţă foarte mare în cazurile călirii pieselor mari. Gradul de călire redus al oţelurilor carbon şi al oţelurilor slab aliate este un mare neajuns, deoarece nu permite întrebuinţarea lor pentru fabricarea obiectelor mari, care trebue să aibă proprietăţi mecanice înalte.

Gradul de călire depinde de compoziţia chimică a oţelului, de procedeul de fabricare, de mărimea granulelor oţelului, de mediul de răcire, de felul răcirii, de temperatura de încălzire înainte de călire, etc.

Oţelurile carbon, oţelurile cu siliciu, cu aluminiu şi cu cupru dau un strat martensitic redus, în timp ce oţelurile cu molibden, cu crom, cu wolfram, cu mangan şi în special cu nichel, dau un strat călit adânc. Ridicarea conţinutului de carbon, mangan, crom, nichel, wolfram şi molibden, favorizează adâncirea călirii. Totuşi în practică s'a observat că oţelul cu aceeaşi compoziţie chimică, dar provenit din şarje diferite, nu are aceeaşi proprietate de a se căli. Aceasta se explică prin mărimea diferită a granulelor oţelului şi prin procedeele de fabricarea ale acestuia. Oţelul cu granule mari se căleşte în adâncime spre deosebire de oţelul cu granule mici care se supune greu călirii.

Câţiva ani în urmă se considera că gradul de călire al aceluiaşi oţel depinde numai de mărimea granulelor. In ultimul timp s'a stabilit că mărimea granulelor nu caracterizează întotdeauna gradul de călire şi din această cauză uzinele care fabrică oţel au renunţat la determinarea gradului lui de călire numai după mărimea granulelor.

Există câteva procedee de determinare iniţială a gradului de călire, procedee care permit să se dea destinaţia corespunzătoare oţelului pentru fabricarea diferitelor piese înainte de laminarea lui finală.

Un procedeu simplu pentru determinarea gradului de călire a oţelului este călirea epruvetelor arătate în fig. 85. Secţiunea epruvetelor este pătrată sau circulară şi depinde de dimensiunile pieselor pentru care este destinat acest oţel. Cu cât secţiunea obiectului este mai mare, cu atât secţiunea epruvetei trebue să fie mai mare. Tăietura (*a*) uşurează spargerea epruvetelor. Tăietura se face la polizor după călire, totuşi ea se poate face şi pe maşini. Lungimea epruvetelor trebue să fie cel puţin de 2 ori mai mare decât diametrul (sau grosimea) pentru ca răcirea părţilor laterale să nu influenţeze asupra gradului de călire.

După spargerea epruvetelor, o parte a spărturii se curăţă la piatra de polizor şi se măsoară duritatea cu ajutorul aparatului Rockwell, începând dela marginea tăieturii opuse către mijloc. Adâncimea stratului dur caracterizează gradul de călire al oţelului.

Gradul de călire se poate deduce şi din aspectul spărturii, fără a măsura duritatea. Oţelul călit va avea o structură cu granule mici în toată secţiunea. Granulele mari din miez arată că gradul de călire este mic. Adâncimea de călire se poate determina şi prin tratarea suprafeţei lustruite cu soluţie de 50% acid clorhidric. Porţiunile în care cantitatea de martensită scade până la 50%, prezintă altă culoare. In prezent se consideră drept adâncime de călire a oţelului, distanţa dela suprafaţă până la stratul cu 50% martensită. Straturile cu mai puţină martensită se caracterizează deasemenea prin scăderea bruscă a durităţii.

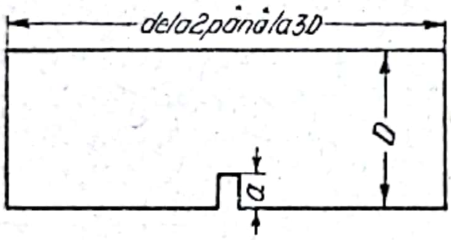


Fig. 85. Epruvetă pentru determinarea gradului de călire al oţelului.

Unele fabrici de scule fac controlul iniţial al gradului de călire, cu ajutorul călirii oţelului la temperaturile de 760, 800, 850 şi 900 °C. Pentru aceasta se prepară epruvete cu secţiunea 20×20 mm, care după aceleaşi condiţii de încălzire se călesc în apă.

Pentru a da oţelului destinaţia corespunzătoare calităţii lui, oţelul din diferite şarje cu diametrul semifabricatelor mai mare de 15 mm, se împarte în grupe, în funcţie de gradul de călire. Fiecărei grupe i se dă o anumită destinaţie, de exemplu una este destinată fabricării toroadelor, alta fabricării burghielor, etc. (tabela 12).

Procedeele arătate mai sus nu sunt economice în cazul când trebue să se găsească gradul de călire al oţelului în secţiuni mari, deoarece tăierea şi spargerea bucăţilor călite mari este anevoioasă. O metodă mai bună este cea produsă în anul 1924 de academ. N. T. Gutţov şi de ing. P. C. Silniţchi [1]). Procedeul de determinarea gradului de călire

[1]) Buletinul Institutului Central de Informaţie N. K. M. C. Nr. 8, Metalurgizdat, 1944.

al oțelului se face cu ajutorul epruvetelor cu secțiune pătrată. Epruvetele de 25×25×150 mm se șlefuesc, se înfășoară la margini cu șnur de asbest și se acoperă cu un amestec de talc și caolină. Călirea se realizează prin afundarea epruvetei cu capătul neacoperit în apă sau prin trimiterea unui curent de apă pe suprafața frontală. Și într'un caz și în celălalt, răcirea se face la suprafața frontală. Măsurând duritatea pe suprafața epruvetei, începând dela capăt, se poate stabili gradul de călire al oțelului.

Tabela 12

Impărțirea oțelului în grupe, după sensibilitatea la călire și destinația acestor oțeluri pentru fabricarea sculelor

Nr. crt. grupelor	Temperatura de călire în °C				Destinația oțelului
	760	800	850	900	
	Adâncimea călirii în mm				
0	0,0—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—3,0	—
I	0,5—1	1—2	2—3	3—4	Pentru alezoare de toate dimensiunile și pentru burghie cu diametru până la 20 mm
II	1—2	2—3	3—4	4—5	Pentru burghie cu diametru până la 30 mm și pentru alezoare de toate dimensiunile
III	3—4	4—5	5—8	Călirea pătrunsă fără supraîncălzire	Pentru burghie cu diametru până la 38 mm și pentru toroade cu diametru de 20 mm
IV	4—6	6—8	Călirea pătrunsă fără supraîncălzire		Pentru burghie de toate dimensiunile și pentru toroade de dimensiuni mari
V	8—10	Călirea pătrunsă fără supraîncălzire		Călirea pătrunsă cu supraîncălzire și cu crăpături	Pentru burghie de toate dimensiunile

V. S. Vladislavlev, Intrebuințarea rațională a oțelurilor de scule după gradul lor de călire. „Oțelul calitativ", 1935, Nr. 10.

După acelaşi principiu s'a elaborat în ultimul timp şi metoda de călire frontală a epruvetelor cilindrice cu diametru de 25 mm şi lungimea de 100 mm. Pentru suspendarea epruvetei în timpul călirii, unul din capetele ei este prevăzut cu o flanşă cu diametru de 30 mm şi grosimea de 3 mm. In fig. 86 se arată o epruvetă standard şi dispozitivul pentru călire după această metodă.

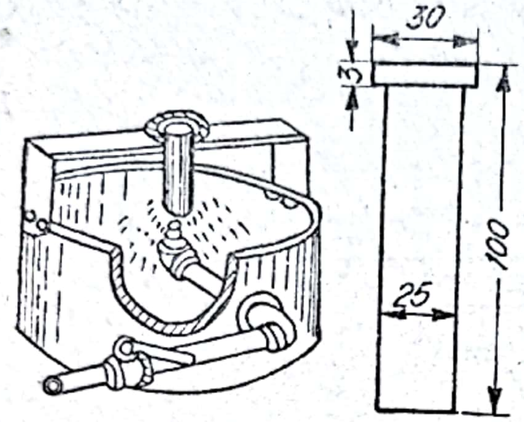


Fig. 86. Dispozitivul şi epruveta pentru călire frontală.

Epruveta se încălzeşte cu 25 °C deasupra punctului critic superior, se ţine timp de 20 min. şi se introduce în dispozitivul de călire. Diametrul găurii interioare a tubului care aduce apa este de 12,7 mm. Tubul se aşează la distanţa de 12,7 mm dela capătul epruvetei. Presiunea apei se reglează cu un ventil astfel, ca în lipsa epruvetei coloana de apă să se ridice la înălţimea de 63 mm. Epruveta se răceşte minimum 10 min. şi se introduce în apă.

Din ambele părţi ale epruvetei se scoate prin şlefuire un strat de metal adânc de 0,4 mm, ceeace permite îndepărtarea stratului decarburat. Măsurarea durităţii pe suprafeţele obţinute se face peste 1,5 mm.

Pentru a evita formarea pe suprafaţa frontală a ţunderilor (oxizilor de fier) care influenţează viteza de răcire, încălzirea epruvetelor se face în şpan de fontă sau în dispozitive speciale.

Pentru prepararea epruvetelor, oţelul se supune în prealabil normalizării la temperatura cu 65 °C deasupra punctului critic superior.

CAPITOLUL VI

REVENIREA OŢELULUI CĂLIT

31. Influenţa revenirii asupra proprietăţilor oţelului

Piesele călite sunt fragile şi au proprietăţi mecanice proaste. Din această cauză ele se întrebuinţează foarte rar ca atare. Deobicei, toate piesele călite se supun revenirii. Revenirea este operaţia prin care oţelul călit se încălzeşte până la punctul Ac_1, fiind supus apoi la o răcire rapidă sau înceată.

Prin revenire se poate elimina în primul rând fragilitatea şi tensiunile provenite în timpul călirii şi în al doilea rând se poate schimba microstructura, adică austenita se transformă în martensită, martensita

în troostită şi troostita în sorbită, ceeace schimbă proprietăţile mecanice ale metalului. Explicarea teoretică a operaţiilor care au loc în timpul revenirii a fost dată de G. V. Curdiumov.

Revenirea, în funcţie de temperatura de încălzire, poate fi: revenire la temperatură joasă, revenire moderată şi revenire la temperatură ridicată.

Revenirea joasă se face la temperatura de 150···300 °C. In timpul încălzirii la această temperatură, martensita începe să treacă în troostită (se spune că martensita se găseşte în faza de descompunere), ceeace se observă prin întunecarea acelor de martensită.

Revenirea moderată la temperatura de 300···400 °C duce la descompunerea martensitei formându-se structura troostitică.

Revenirea înaltă se caracterizează prin apariţia sorbitei şi se realizează prin încălzire până la temperatura de 500···680 °C.

Schimbând structura oţelului, revenirea schimbă şi proprietăţile lui. Caracterul schimbării proprietăţilor depinde de structura iniţială pe care a avut-o oţelul după călire (austenită, martensită).

Oţelul fără revenire şi oţelul cu revenire la temperatură joasă (100 °C) are limita de curgere scăzută, deasemenea şi rezistenţa la rupere. La început aceste caracteristice cresc. Aceasta se explică prin eliminarea tensiunilor care sunt proprii oţelului călit. Odată cu ridicarea temperaturii de revenire, rezistenţa la rupere, limita de curgere şi duritatea scad, iar alungirea, contracţia şi rezilienţa cresc (fig. 87 şi fig. 88).

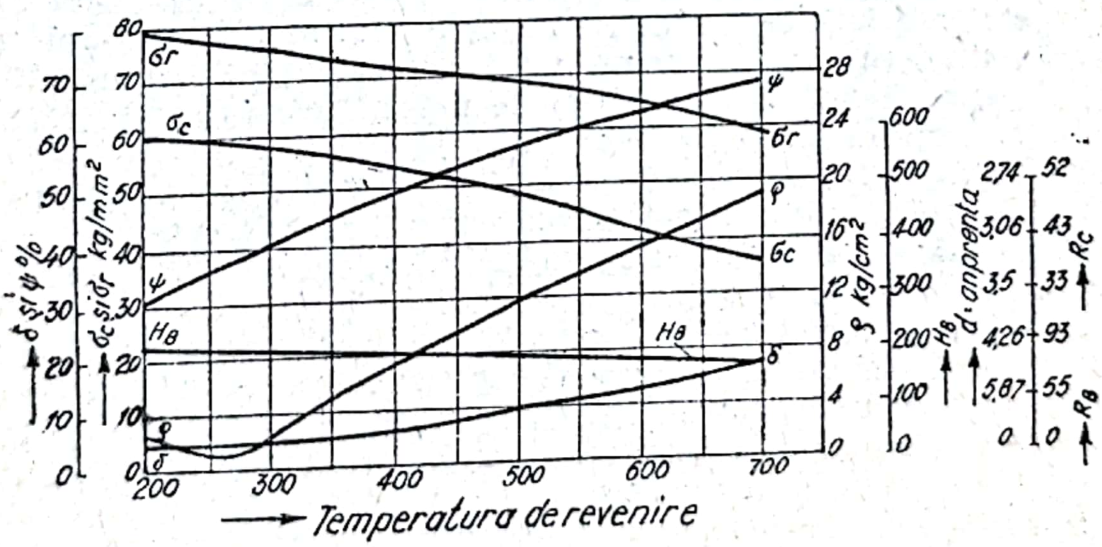


Fig. 87. Influenţa temperaturii de revenire asupra proprietăţilor mecanice ale oţelului 35.

Câteodată revenirea se face odată cu călirea, utilizând o singură încălzire pentru ambele tratamente. Pentru aceasta piesa nu se ţine

în mediul de răcire până la răcirea completă, ci se scoate când în interiorul ei mai rămâne căldura necesară pentru revenire. Nu se poate recomanda acest procedeu deoarece este foarte greu de stabilit de

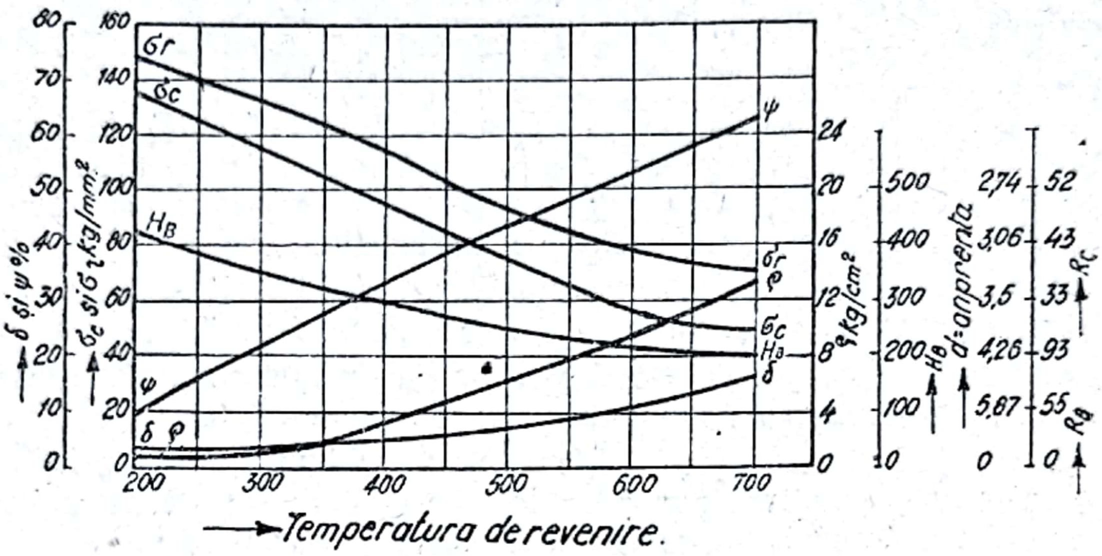


Fig. 88. Influenţa temperaturii de revenire asupra proprietăţilor mecanice ale oţelului 50.

fiecare dată câtă căldură a rămas în piesă şi dacă această căldură este suficientă pentru o revenire corectă.

32. Temperatura de revenire şi timpul de menţinere

Piesele se supun tratamentului termic de revenire în intervalul de temperaturi dela 150···680 °C. Piesele care prin natura funcţionării lor trebue să fie dure, sunt supuse revenirii la temperaturi de 150···200 °C. Dacă obiectele trebue să aibă tenacitate ridicată, ele se supun revenirii la temperatură înaltă (500···680 °C).

In timpul încălzirii dela 200 la 330 °C, pe suprafaţa piesei apar pelicule de oxid a căror culoare depinde de temperatura şi de timpul de încălzire (culori de revenire). Fiecărei culori a peliculei îi corespunde o anumită temperatură.

Stabilirea temperaturii după culorile de revenire este dificilă deoarece această metodă necesită multă experienţă, iar rezultatul depinde de grosimea peliculei, adică de timpul de menţinere. Afară de aceasta, piesele se şlefuesc la suprafaţă. Deobicei temperatura se măsoară cu ajutorul pirometrelor şi termometrelor speciale.

In anexa I se dau temperaturile de revenire pentru diferite obiecte.

Incălzirea pieselor în timpul revenirii se face pe cât posibil încet, deoarece oţelul călit are tensiuni mari, iar încălzirea rapidă favorizează obţinerea crăpăturilor. Piesa încălzită până la temperatura de revenire se ţine câtva timp la această temperatură. Acest timp depinde de dimensiunile piesei şi anume: cu cât piesa are dimensiuni mai mari,

cu atât timpul pentru egalizarea temperaturii în toată secţiunea este mai mare. Afară de aceasta, piesele din oţeluri speciale necesită un timp de menţinere mai mare datorită conductibilităţii termice scăzute.

Cu toate că condiţiile de răcire după revenire în cazul oţelurilor carbon nu au importanţă aşa de mare ca în cazul oţelurilor aliate, se recomandă ca răcirea să se facă în aer pentru a evita posibilitatea formării tensiunilor interne. Totuşi pentru unele feluri de oţeluri aliate, în special pentru oţelul cu crom şi nichel, viteza de răcire după revenire are o importanţă foarte mare. In aceste cazuri, în timpul răcirii încete, materialul poate să devină fragil (fig. 118).

CAPITOLUL VII

TRATAMENTUL TERMO-CHIMIC AL OŢELULUI

33. Cementarea

Cementarea constă în saturarea cu carbon a stratului exterior al piesei. Procesul cementării este bazat pe difuziune, adică pe tendinţa carbonului de a pătrunde în oţelul solid la temperaturi înalte.

Cementarea are ca scop obţinerea pieselor cu un strat exterior dur şi rezistent la uzură, păstrând însă un miez moale. Suprafaţa dură rezistă mai bine la uzura prin frecare, în timp ce miezul moale asigură pieselor o mare plasticitate, ceeace este important în special în cazul când în timpul lucrului se produc lovituri şi şocuri.

Aceste proprietăţi ale pieselor cementate au asigurat cementării o largă răspândire în diferite ramuri ale construcţiei de maşini.

Stratul exterior dur se obţine după călirea pieselor cementate, în apă. El este tot atât de dur ca şi oţelul pentru scule, în timp ce miezul pieselor se păstrează moale.

Pentru obţinerea celor mai bune rezultate la cementare, este necesar să se ţină seamă de următoarele:

1) alegerea corectă a oţelului pentru piesele care vor fi supuse cementării;

2) alegerea carburizatorului corespunzător cu ajutorul căruia se va face cementarea;

3) o bună împachetare a pieselor;

4) un regim corect al tratamentului termic în timpul şi după cementare (temperatură, durată, metodă de răcire).

Trecem acum la analiza fiecărui factor în parte.

34. Oţeluri pentru cementare

Deobicei, pentru fabricarea pieselor cementate se întrebuinţează un oţel cu conţinut mic de carbon. Un astfel de oţel, fiind încălzit

până la temperatura de călire, nu-şi măreşte duritatea la o răcire rapidă, ceeace asigură pieselor obţinerea unui miez moale.

Oţelul pentru cementare trebue să fie lipsit de impurităţi, să nu aibă sguri, incluziuni de gaze, zone de segregaţie sau alte defecte.

Conţinutul în fosfor şi sulf nu trebue să fie mai mare de 0,04%.

Oţelul cu conţinut mai ridicat de carbon, se întrebuinţează pentru piesele care nu sunt supuse la eforturi considerabile în timpul lucrului.

Pentru piesele supuse în timpul lucrului la eforturi mari, se întrebuinţează oţeluri aliate cu conţinut redus de carbon.

La alegerea oţelului pentru cementare, este necesar să se ţină seamă de secţiunea transversală a pieselor şi anume de constatarea că cu cât secţiunea transversală este mai mare, cu atât miezul pieselor este mai moale.

35. Amestecuri de carburare (carburizatori)

Alegerea carburizatorului cu ajutorul căruia se va face cementarea este un factor esenţial pentru obţinerea unei piese cementate de calitate superioară.

Există foarte multe reţete pentru prepararea carburizatorilor, dar toate, într'un fel sau altul, conţin carbon.

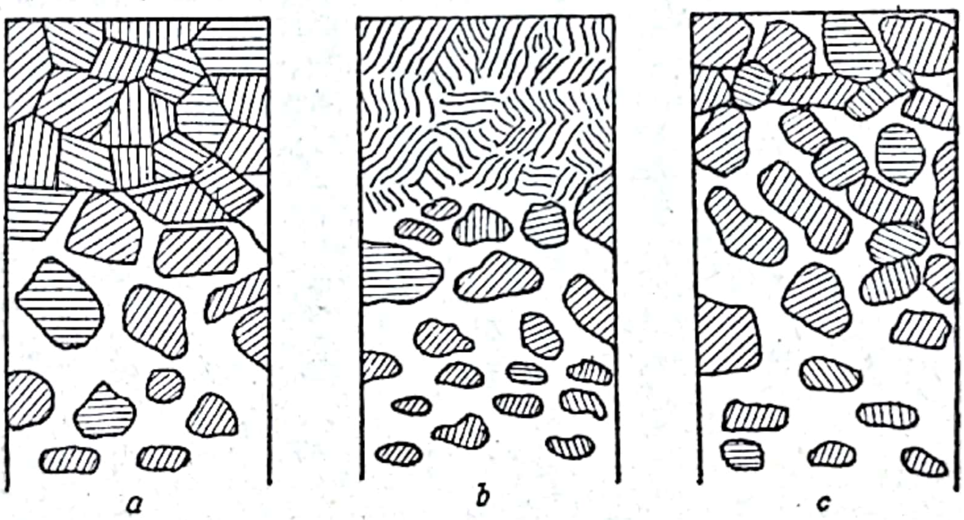


Fig. 89. Compoziţia stratului cementat:
a — hipereutectoid; *b* — eutectoid şi *c* — hipoeutectoid.

Carburizatorul poate fi sub formă de praf, de lichid sau de gaz. El trebue să fie astfel ales încât să producă o carburare uniformă pe întreaga suprafaţă a piesei.

Carburizatorul nu trebue să acţioneze rapid, deoarece în acest caz în stratul superior se obţine un conţinut mare de carbon şi se formează o trecere bruscă dela stratul dur cementat spre stratul moale, ceeace poate provoca apariţia fisurilor la călire şi separarea stratului carburat.

Din alt punct de vedere carburizatorul nu trebue să acţioneze nici prea încet, întrucât în acest caz procesul cementării se prelungeşte şi, datorită acestui fapt se măreşte costul cementării şi se micşorează volumul capacităţii de prelucrare a atelierului.

Trebue folosit carburizatorul care poate face ca stratul superficial să fie format numai din perlită (fig. 89, *b*).

Carburizatorul nu trebue să conţină elemente dăunătoare oţelului, deoarece la temperaturi înalte, acestea pătrund în material şi-i scad calitatea.

Primul loc din categoria elementelor dăunătoare îl ocupă sulful şi fosforul.

Carburizatorul nu trebue să se epuizeze repede; capacitatea lui de cementare trebue să se păstreze timp îndelungat. In caz contrar, nu se va putea obţine o adâncime de cementare suficientă chiar la o încălzire prelungită.

Este necesar a alege un carburizator care poate fi utilizat de mai multe ori, adăugându-se cantităţi neînsemnate de preparat proaspăt.

Substanţa de cementare nu trebue să se taseze prea mult după întrebuinţare, deoarece o contractare considerabilă va reclama o cheltuială inutilă de carburizator şi prin aceasta va mări costul de producţie al procesului.

Carburizatorul nu trebue să fie dăunător pentru cei din jur.

Bazându-ne pe proprietăţile fiecărui carburizator şi ţinând seama de cerinţele impuse anumitor piese, carburizatorul se prepară adăugându-se permanent sau o nouă cantitate proaspătă sau numai elemente separate care intră în compunerea lui.

Cel mai răspândit carburizator este amestecul din şasezeci părţi cărbune de lemn şi patruzeci părţi carbonat de bariu, socotite în greutate.

In tabela 13, sunt date câteva reţete de prepararea carburizatorilor.

Tabela 13

Compoziţia carburizatorilor

Denumirea substanţei componente	Nr. carburizatorului									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cărbune de lemn	60	40	90	—	90	—	—	50	70	70
Cărbune de corn	—	—	—	40	—	10	33	—	—	—
Cărbune de os	—	—	—	20	—	60	—	—	—	30
Piele carbonizată	—	—	—	20	—	—	67	20	—	—
Sare de bucătărie	—	—	10	—	—	—	—	—	10	—
Carbonat de potasiu	—	—	—	—	10	—	—	—	20	—
Carbonat de bariu	40	60	—	—	—	—	—	—	—	—
Scoarţă de copac	—	—	—	—	—	30	—	—	—	—
Funingine	—	—	—	—	—	—	—	30	—	—
Sodă calcinată. . .	—	—	—	20	—	—	—	—	—	—

De multe ori în compoziţia carburizatorului se introduce cocsul. Deobicei, la a doua întrebuinţare a carburizatorului se adaugă 25% carburizator proaspăt.

Amestecul substanţelor componente se face pe două căi:

1) Amestecul de cărbune şi cocs fărâmiţat se umezeşte în tobă şi apoi i se adaugă celelalte componente în stare uscată.

2) Amestecul de cărbune şi cocs se umezeşte cu soluţia de săruri amestecată cu melasă sau o soluţie de oxid de calciu.

In al doilea caz este necesar ca amestecul să se usuce într'un cuptor cu toba rotativă; se obţine astfel o calitate superioară, deoarece în procesul de cementare carburizatorul se contractă puţin.

O largă întrebuinţare are carburizatorul cunoscut sub numele de carburizator de Bondiuj şi care are următoarea compoziţie:

Carbonat de bariu	20 ··· 25%
Sodă	3 ··· 5%
Cocs	5%
Cărbune de lemn	restul

Umiditatea acestui carburizator ajunge până la 5%.

36. Pregătirea pieselor pentru cementare şi împachetarea lor în cutii

Suprafaţa pieselor supuse cementării trebue să fie netedă, curată, fără urme de rugină sau pete de ulei, deoarece prezenţa ruginei şi a petelor de grăsime vor împiedica pătrunderea carbonului în aceste locuri, producând astfel pete noi pe suprafaţa pieselor.

Uneori sunt supuse cementării numai anumite părţi dintr'o piesă. In asemenea cazuri se recurge la lipirea cu un amestec de argilă refractară şi alte substanţe, sau la acoperirea cu un strat subţire dintr'un metal oarecare, a acelor locuri care nu trebue să se cementeze, sau se lasă în aceste părţi un adaus de metal care după cementare se înlătură.

Pentru o bună aderenţă a argilei, piesele se leagă în prealabil cu sârmă şi apoi se aplică un strat de argilă de 3...5 mm grosime.

In tabela 14 este arătată compoziţia amestecurilor de lipit (în procente), folosite în practică.

Frecvent însă argila crapă şi, astfel, nu poate proteja totdeauna piesa împotriva pătrunderii carbonului.

Cele mai bune rezultate în acest sens îl dă următorul amestec socotit în greutate: cinci părţi talc, două părţi argilă refractară şi două părţi apă.

Acest amestec se diluează cu silicat de sodiu astfel ca să permită acoperirea pieselor cu pensula.

Asbestul mărunt amestecat cu silicat de sodiu protejează bine împotriva cementării.

Amestecul se aplică pe piesă în stare densă, deslipindu-se foarte greu după cementare.

Acoperirea piesei trebue să se facă cu un strat mic, care se va usca încet înainte de a introduce piesa în cuptor pentru cementare.

Tabela 14

Compoziţia amestecurilor de lipit (în %)

Nisip	Argilă	Tetraborat de sodiu	Silicat de sodiu (Wasserglas)	Salpetru de sodiu	Oxid de plumb	Praf de şmirghel	Praf de cupru
—	—	—	—	—	—	33	67
36	37,5	19	—	3,5	4	—	—
41	43	10	—	3	3	—	—
—	50	—	50	—	—	—	—
33	67 [1]	—	—	—	—	—	—

[1]) Acest amestec se diluează cu silicat de sodiu (Wasserglas).

Cea mai bună acoperire se consideră aceea care nu crapă la temperatură înaltă, aderă bine pe piesă şi asigură pretutindeni o bună protejare contra acţiunii de pătrundere a carbonului.

Este posibil să se execute operaţia şi invers, acoperindu-se suprafeţele supuse cementării şi lăsându-se descoperite părţile nesupuse cementării.

In acest scop se întrebuinţează paste, care sunt substanţe de cementare.

Pentru o astfel de pastă de acoperire se poate indica următorul amestec; două părţi de ferrocianură de potasiu şi o parte de bicromat de bariu cu dextrină.

Trebue notat că deobicei pastele crapă şi se deslipesc de piesă, ceeace duce la cementare inegală a suprafeţei.

Acest procedeu se poate folosi numai în cazul când construcţia piesei împiedică aplicarea unei cementări obişnuite.

Cu toată întrebuinţarea învelişurilor protectoare, carbonul pătrunde totuşi în piesă şi deaceea, în loc să se folosească acoperirea, uneori se lasă la dimensiunile piesei un adaus de 2...3 mm care se îndepărtează după cementare.

In acest caz părţile prelucrate rămân moi după călire.

In unele cazuri se întrebuinţează deasemenea inele şi alte piese asemănătoare, care protejează unele părţi din piesă contra pătrunderii carbonului.

Ele trebue să fie cu 3...5 mm mai late decât locurile apărate.

Pentru a putea sparge uşor inelele de protecţie, grosimea acestora trebue să fie de 2...3 mm şi în orice caz cel puţin egală cu adâncimea de cementare presupusă.

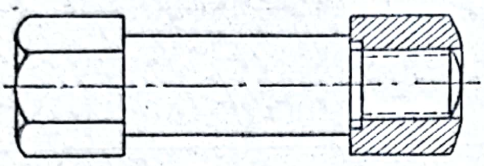


Fig. 90. Protecţia locală contra cementării.

Piuliţele înşurubate pe ghivent (fig. 90) îl protejează bine contra cementării.

Cu toate că ultimele procedee sunt mai sigure, decât acoperirea pieselor, sunt însă mult mai scumpe şi cer o prelucrare mai complicată.

Inafară de aceasta a pune un inel sau a prelucra o parte din piesă la strung, nu este totdeauna posibil după cementare.

Protejarea unor părţi din piesă contra cementării prin aplicarea unui strat de alte metale, cu toate că este foarte costisitoare, destul de complicată în producţie şi necesită metale care nu se topesc la temperaturile de cementare, dă în schimb rezultate foarte bune.

Pentru acest procedeu se întrebuinţează în special cuprul, care se aplică pe piesă prin unul din următoarele moduri: prin galvanizare, prin afundarea în soluţii de săruri de cupru şi prin metalizare.

Trebue amintit că cel mai sigur procedeu de protecţie contra cementării este acoperirea cu cupru prin galvanizare, deoarece prin al doilea procedeu (afundarea piesei în soluţie) cuprul se depune neuniform şi înafară de aceasta uneori stratul de cupru se cojeşte.

Pentru acoperirea piesei cu cupru se aplică uneori procedeul metalizării: metalul topit este proiectat cu presiune mare cu ajutorul unui aparat special şi acoperă cu un strat continuu piesa aşezată în bătaia curentului de metal.

Pentru protecţia contra cementării se mai poate întrebuinţa o vopsea compusă dintr'o parte monoclorură de cupru şi două părţi de tetraoxid de plumb (miniu de plumb).

Un kilogram de acest amestec se disolvă în 170 cm³ dintr'o soluţie de lac de bachelită şi spirt[1]).

La intervale de 10...15 min, se aplică pe piesele curate două straturi de vopsea în grosime totală de 0,7...1,0 mm.

Piesele pot fi împachetate în cutii, după întărirea ultimului strat (după 20...30 min dela aplicare).

La încălzire se produce reducerea aliajului de cupru-plumb.

Cementarea pieselor se face în cutii de fontă sau oţel moale bine închise şi lipite cu argilă (pentru piese cilindrice se întrebuinţează ţevi în loc de cutii).

Dimensiunile cutiilor trebue să permită o aşezare comodă a pieselor, însă întrebuinţarea unor cutii prea mari nu se recomandă de-

---

[1]) Tehso, seria 16, 1940, Nr. 706.

oarece acestea se încălzesc greu uniform, astfel că piesele aşezate lângă pereţi se încălzesc mai uşor şi se cementează mai tare decât cele aşezate în mijlocul cutiilor.

Cutiile de cementare se fac din fontă, oţel moale turnat şi aliaje speciale. Grosimea pereţilor lor trebue să fie de circa 20 ... 30 mm.

Cu cât pereţii cutiilor sunt mai groşi, cu atât durata lor de funcţionare creşte.

Pentru protejarea cutiilor împotrixa oxidării, se recomandă ca pereţii exteriori să fie acoperiţi cu un strat subţire de argilă.

Uneori cutiile se fac din fontă, oţel sau alte aliaje de calitate specială, rezistente la căldură.

Este avantajos să se folosească cutii de cementare aliate la suprafaţă. Alitarea constă în aceea că suprafaţa cutiei de oţel se încălzeşte împreună cu praf de aluminiu până la temperatura de 900 ... 1 000 °C, la care aluminiul pătrunde în oţel şi formează un strat care protejează peretele cutiei împotriva acţiunii gazelor atât timp, până când aluminiul se distribue în tot oţelul.

Inainte de a se încărca piesele, se toarnă pe fundul lăzii un strat de carburizator de 40 ... 55 mm grosime şi se presează bine.

Piesele sunt aranjate în cutii astfel ca între ele să rămână un spaţiu de 10 ... 30 mm iar între ele şi pereţi, un spaţiu de 20 ... 25 mm.

Cu cât piesele pentru cementare sunt mai masive şi cu cât adâncimea de cementare este mai mare, cu atât distanţa între piese trebue să fie mai mare.

După aceasta, primul rând de piese se acoperă cu carburizator, se presează uşor şi se aşează din nou un rând de piese etc.

Ultimul rând se acoperă cu un strat mai gros de carburizator (50 ... 100 mm) şi se presează, după care cutia se închide cu un capac ajustat solid la margini.

Carburizatorul trebue presat, pentru ca el să adere uniform la piese. In caz contrar, carburizatorul insuficient presat va duce la o cementare cu pete.

Pentru ca aerul să nu pătrundă în cutie, încheeturile şi marginile capacului se lipesc cu argilă refractară.

După ce lipitura se usucă, cutiile sunt aşezate în într'un cuptor rece.

Uneori cutiile sunt aşezate în cuptor cu capacul în jos, deoarece în acest mod se menţine mai bine presiunea gazelor formate la cementare, ceeace accelerează procesul.

Cutiile trebue astfel aranjate încât gazele calde să cuprindă pereţii uniform în toate părţile.

Din această cauză, dacă cutiile nu au picioruşe speciale, ele se aşează pe suporturi. In cuptoarele moderne cu funcţionare continuă cutiile se mişcă în cuptor în mod automat cu o viteză determinată.

După încărcarea cutiilor uşile cuptorului se lipesc şi se începe încălzirea cuptorului până la temperatura de cementare.

Durata de menţinere la temperatura de cementare depinde de adâncimea de cementare cerută, de compoziţia oţelului şi de temperatură.

37. Temperatura de încălzire la cementare, durata şi tratamentul termic ulterior

La trecerea prin punctul Ac_1 perlita se transformă într'o soluţie solidă. Prin urmare, din acest moment începe absorbirea carbonatului de către oţel; deoarece însă în acest timp cantitatea de soluţie solidă este foarte neînsemnată cementarea va decurge încet.

La urcarea ulterioară a temperaturii cantitatea de soluţie solidă se măreşte deaceea cementarea se face mai repede.

Oţelul, întrebuinţat pentru fabricarea pieselor care vor fi supuse cementării (dela 0,08 până la 0,25 % carbon), conform diagramei de echilibru, va avea soluţia solidă la temperaturi înalte, ceeace condiţionează o temperatură ridicată de cementare (cel puţin 900 °C).

In practică se foloseşte temperatura de 920 ... 975 °C.

Nu se recomandă însă să se ridice prea mult temperatura, deoarece aceasta contribue, în primul rând, la obţinerea unei structuri cu granule mari, iar în al doilea rând, la temperaturi înalte de cementare, şi la mărirea conţinutului de carbon în stratul superficial până la 1,4 ... 1,5 %.

Cementita în exces se distribue sub formă de reţea (fig. 54, *a*) şi are drept consecinţă apariţia fragilităţii.

Conţinutul optim de carbon în oţel corespunde compoziţiei sale eutectoide.

Adâncimea carburării depinde în mare măsură de temperatură şi de durata de cementare (tabela 15).

Tabela 15

Adâncimea stratului carburat în funcţie de temperatura şi durata (în ore) de cementare (carburizator cu 30% carbonat de bariu)

Temperatura de cementare în °C	Grosimea stratului carburat în mm							
	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
870	3,5	7	10	13	16	19	22	25
900	3	6	8	10	12	14	16	18
930	2,75	5	6,5	8	9,5	11	12,5	14
955	2	4	5	6	7	8,5	11	11,5
980	1,5	3	4	5	6	7	8	9
1 000	1	2	3	4	5	6	7	8

O durată prelungită la temperatura de cementare atrage după ea mărirea granulelor şi condiţionează fragilitatea pieselor.

Pentru înlăturarea fragilităţii, piesele cementate se supun unui tratament termic complicat.

După cementare piesele de importanţă secundară se răcesc până la 750...760 °C şi se călesc imediat.

Deoarece acest procedeu dă multe rebuturi din cauza crăpăturilor, precum şi din cauză că se obţine o producţie de calitate inferioară, acest tratament nu poate fi recomandat.

In cazul pieselor principale, cutiile cu piese se răcesc împreună cu cuptorul sau în aer, dându-se preferinţă, din multe considerente, procedeului din urmă.

Pentru a înlătura fragilitatea şi structura cu granulaţie mare a oţelului, aceste piese sunt supuse la un tratament după una din metodele următoare:

1) recoacerea pieselor cementate la 850...900 °C ţinând cont de compoziţia chimică, cu răcire ulterioară în aer şi apoi călire la 760 °C;

2) prima călire la 850...920°C şi a doua călire la 760 °C.

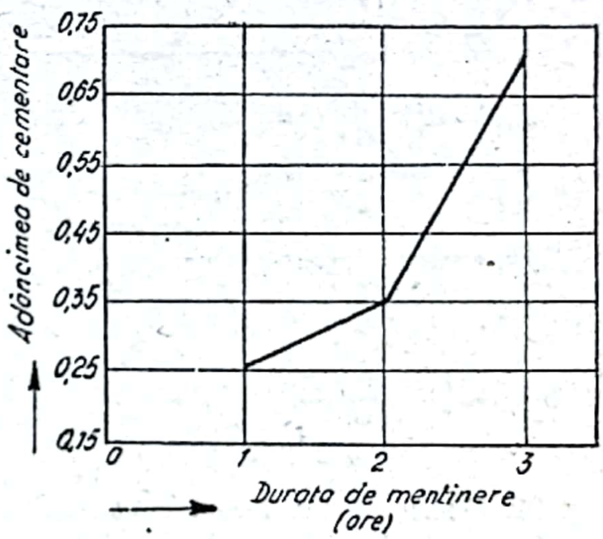


Fig. 91. Adâncimea stratului de cementare la oţelului 20 H.

Pentru a ne da seama de fenomenele ce se petrec în acest timp în oţel, trebue să avem în vedere că piesa cementată este compusă din straturi diferite: miezul cu conţinut neînsemnat de carbon şi stratul exterior cu conţinut ridicat de carbon.

Recoacerea după primul procedeu face ca miezul cu conţinut mic de carbon să capete o structură cu granulaţie măruntă, dar această încălzire este prea mare pentru stratul exterior bogat în carbon şi atrage după sine o creştere mare a granulelor.

Incălzirea înainte de călire până la 760 °C face ca şi acest strat să capete o granulaţie măruntă şi în acelaşi timp nu influenţează asupra mărimii granulelor din miez.

In acest fel, printr'un asemenea tratament termic, atât miezul cât şi stratul exterior al piesei vor avea o structură cu granulaţie măruntă.

Prima călire făcută după metoda a doua are scopul în primul rând să dea miezului interior o structură cu granulaţie măruntă şi în al doilea rând să obţină în stratul exterior o structură martensitică fără exces de cementită.

Călirea la 760 °C face ca stratul exterior să capete o structură cu granulaţie măruntă şi dură.

Piesele cementate după călire se supun unei reveniri la temperaturi joase (160 ... 200 °C).

In cazul când este nevoie de un strat cementat nu prea mare, se poate folosi cementarea în carburizator lichid.

In acest scop se foloseşte o baie compusă din 75 ... 85% sodă (Na_2CO_3) şi 10 ... 15% sare de bucătărie (NaCl).

După disolvarea băii, i se mai adaugă 6 ... 10% carbură de siliciu (SiC).

Aceasta, intrând în acţiune cu soda, se descompune cu formarea de carbon în stare atomică, care produce cementarea.

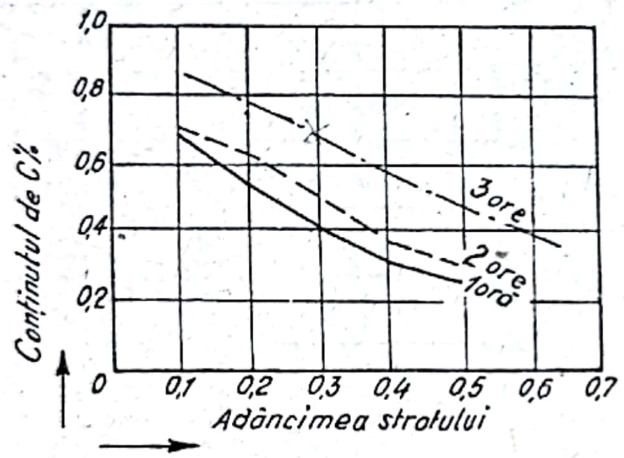


Fig. 92. Distribuirea carbonului în adâncimea stratului de oţel 20 H [1]) supus unei cementări în carburizator lichid timp de 1, 2 şi 3 ore.

In timpul funcţionării băii, trebue să se observe să nu scadă conţinutul în carbură de siliciu mai jos de cantitatea arătată.

La un conţinut de carbură de siliciu mai mic de 3%, se produce decarburarea oţelului.

Cementarea se execută, în funcţie de calitatea oţelului, la temperatura de 815 ... 860 °C.

Influenţa duratei asupra adâncimii stratului cementat din oţelul 20 H supus unei cementări în carburizator lichid, este arătată în fig. 91, iar distribuirea carbonului în adâncime este ilustrată de fig. 92 (după datele lui E. M. Morozova şi E. D. Spivac).

O cementare puţin adâncă se execută deasemenea în săruri disolvate cu adaus de substanţe cianice.

După acest procedeu, piesele se încălzesc până la 800 ... 900 °C şi se ţin dela 5 până la 50 minute.

In acest caz, grosimea stratului carburat se obţine dela 0,10 până la 1,0 mm, iar conţinutul în carbon dela 0,6 până la 0,9%.

38. Determinarea dimensiunilor granulelor oţelului cu ajutorul cementării

Mărimea granulelor are o influenţă considerabilă asupra calităţii oţelului.

Granulele pot fi reale sau pot fi transformate.

---

[1]) 20 H = Oţel carbon 0,20% + Crom.

Granulele pe care le are oţelul la temperatura normală şi care nu se modifică la încălzirea până la punctul Ac_1, se numesc reale sau efective.

Granulele care se formează în procesul de încălzire, menţinere la temperatură înaltă şi răcire a oţelului în condiţiuni determinate, se numesc transformate. Ele pun în evidenţă tendinţa de creştere a granulelor.

Cea mai accentuată tendinţă de creştere o posedă granulele oţelului de compoziţie eutectoidă.

Granulele oţelului cu conţinut redus de carbon creşte încet, cu toate că temperatura de încălzire este înaltă.

Granulele oţelurilor hipereutectoide cresc mai repede la încălzire, decât granulele oţelurilor cu conţinut redus de carbon, însă mai încet decât granulele oţelurilor eutectoide.

Oţelul cu granule mari posedă calităţi mecanice inferioare, însă se căleşte, se laminează şi se prelucrează la maşini-unelte mai bine.

In cazul folosirii unei strunjiri brute poate fi convenabil din punct de vedere economic să se obţină în oţel o granulaţie mare cu ajutorul încălzirii până la temperaturi înalte, urmând apoi ca după prelucrarea la strung să se supună piesele sau semifabricatele unui tratament termic în condiţiuni normale, pentru a se obţine o granulaţie măruntă.

Oţelurile cu granule mari produc uşor fisuri la călire, au tendinţă spre încovoiere şi modifică în mod simţitor dimensiunile pieselor. Aceasta are importanţă în tratamentul termic al pieselor cu formă complicată (de exemplu al roţilor dinţate) şi al pieselor cu dimensiuni precise.

Oţelurile cu granule mărunte nu se prelucrează bine la strung, în schimb rezistă bine la lovituri şi permit să se obţină după călire piese cu încovoieri mici.

Compoziţia chimică, precum şi procesul de elaborare al oţelului are influenţă asupra vitezei de creştere a granulelor, adică asupra granulelor transformate sau naturale.

In cazuri izolate, la aceeaşi compoziţie chimică însă la condiţiuni diferite de elaborare a oţelului, granulele transformate nu sunt identice.

O viteză mică de creştere a granulelor din oţelul cu granulaţie măruntă naturală, se explică prin prezenţa unor combinaţiuni chimice extrem de mărunte, care ajung în oţel în timpul topirii sau turnării.

Oţelurile ale căror granule au tendinţă de creştere se cementează la o adâncime mare şi posedă o capacitate de călire ridicată.

Cea mai bună metodă de determinarea dimensiunilor granulelor a fost elaborată de S. S. Steinberg.

Această metodă constă în încălzirea unei probe fin lustruite până la temperaturi înalte fără acces de aer. La o astfel de încălzire pe suprafaţa lustruită apare o reţea foarte fină, conturând clar marginile granulelor.

O metodă mai simplă şi mult mai răspândită, însă mai puţin precisă, constă în relevarea tendinţei de creştere a granulei cu ajutorul cementării.

O deosebită influenţă asupra preciziei determinării prin această metodă a granulei transformate, o exercită viteza de răcire după cementare.

Dacă viteza de răcire va fi diferită, se poate întâmpla ca cementita sau ferita să nu aibă timp să se separe pe toate marginile granulelor, iar granula va pare mai mare decât era la temperaturi înalte.

In funcţie de tendinţa şi creşterea granulelor sale la încălzire mai sus de Ac_3, oţelul se împarte în opt grupe (fig. 93).

Dacă oţelul are granule mari şi mărunte, se marchează cu două numere.

Pentru determinarea dimensiunilor granulelor se ia o bucată de oţel, se curăţă bine una din suprafeţe şi se cementează cu un carburizator puternic (40% carbonat de bariu şi 60% cărbune de lemn).

Epruvetele se încălzesc în acest amestec 8 ore la 925 °C şi apoi se răcesc încet.

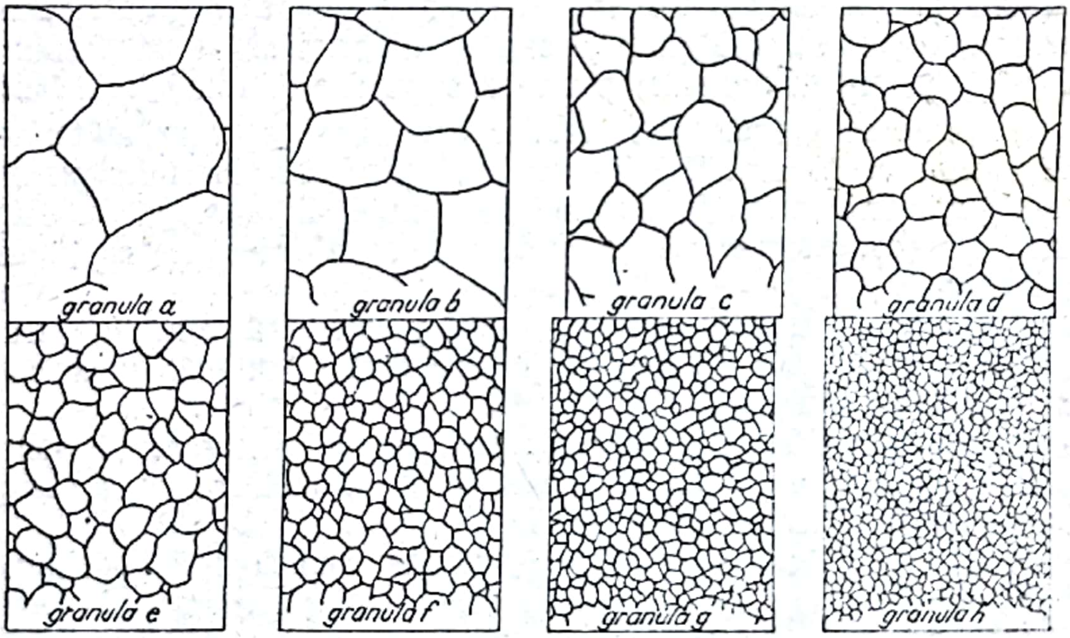


Fig. 93. Scara dimensiunilor granulelor oţelului.

In urma unui atare tratament cementita se separă în stratul superficial sub forma unei reţele pe marginile granulelor, ceea ce permite să se stabilească uşor dimensiunile acestora cu ajutorul microscopului.

In acest scop se confecţionează o epruvetă lustruită şi după tratare cu o soluţie de acid azotic 4%, se examinează la o mărire de o sută de ori.

Stabilind numărul de granule cuprinse la această mărire într'un ţol pătrat, se determină numărul granulelor oţelului, după scară (fig. 93).

Viteza de răcire până la 600 °C are o mare influenţă asupra conturării clare a dimensiunilor granulelor.

Se dă mai jos timpul de răcire dela 930 °C până la 600 °C a unor calităţi de oţel:

oţeluri obişnuite şi cele puţin aliate . . . . 3 ore
oţeluri aliate medii de tipul 20 HN 3 (0,20 C + Cr + 3% Ni) 4 ore
oţeluri aliate superioare cu 1,5% C şi 4% Ni . . . . 16 ore
oţeluri aliate superioare cu 3% Ni . . . . 8 ore

Un ţol pătrat (la o mărire de 100 ori) cuprinde următorul număr de granule:

Nr. 1—1	Nr. 3—4	Nr. 5—16	Nr. 7—64
Nr. 2—2	Nr. 4—8	Nr. 6—32	Nr. 8—128 şi mai mult.

Obţinerea unui oţel topit cu o granulaţie determinată constă în introducerea unei cantităţi determinate de reducători (aluminiu, zirconiu, vanadiu).

De exemplu, pentru a obţine un oţel cu carbon cu granula Nr. 3—4, trebue adăugat, în căldarea de turnare, aluminiu în cantitate de 75···100 gr la 1 tonă.

39. Cementarea în carburizator gazos

In ultimul timp a început să se introducă, foarte frecvent, în producţie cementarea cu ajutorul gazelor.

In comparaţie cu cementarea în carburizatori solizi, cementarea cu gaze are următoarele avantaje:

1) se scurtează durata procesului de 3···4 ori;
2) se micşorează costul în urma accelerării încălzirii, eliminării operaţiunilor în legătură cu împachetarea în cutii şi scăderii consumului de combustibil;
3) se ameliorează condiţiile de lucru.

La cementarea în carburizator gazos în unele cazuri (timp de menţinere scurt) piesele pot fi călite imediat după cementare.

Pentru cementare se folosesc substanţe gazoase: acetilenul, gazul de iluminat, metanul, oxidul de carbon, precum şi gazele obţinute din cracarea petrolului şi a păcurii.

Gazul de iluminat se consideră cea mai bună substanţă de cementare, în care caz cementarea decurge slab la temperatura de 700···900 °C, însă se accelerează la 1 050 °C şi atinge punctul său culminant la 1 100 °C.

La cementarea gazoasă se produc următoarele reacţiuni:

$$2\,CO \rightleftarrows C + CO_2$$
$$CH_4 \rightleftarrows C + 2\,H_2$$

Carbonul pătrunde în interiorul oţelului.

Cementarea în carburizator gazos, în comparaţie cu cementarea în carburizator solid, permite să se obţină o carburare mai adâncă fără cementită în exces.

Gazul pentru cementare se introduce printr'o parte a cuptorului şi iese prin cealaltă parte.

Pentru o cementare uniformă a pieselor, cuptoarele se construesc adesea turnante (metoda de obţinere a gazelor este descrisă în Cap. IV).

40. Azotarea oţelului

Azotarea sau nitrurarea constă în saturarea cu azot a suprafeţei piesei, ceeace îi dă o mare duritate.

Ea are scopul de a mări stabilitatea suprafeţei piesei împotriva uzurii, de a păstra miezul moale şi de a proteja piesele împotriva încovoierii.

Azotarea a fost studiată şi aplicată prima oară în U.R.S.S. de N. P. Cijevschi.

La azotare, piesele care au fost supuse călirii, unei reveniri înalte şi şlefuirii, se încălzesc timp de 15···50 h la o temperatură de 480···550 °C, în cuptoare-mufe prin care trece un curent de amoniac (fig. 94).

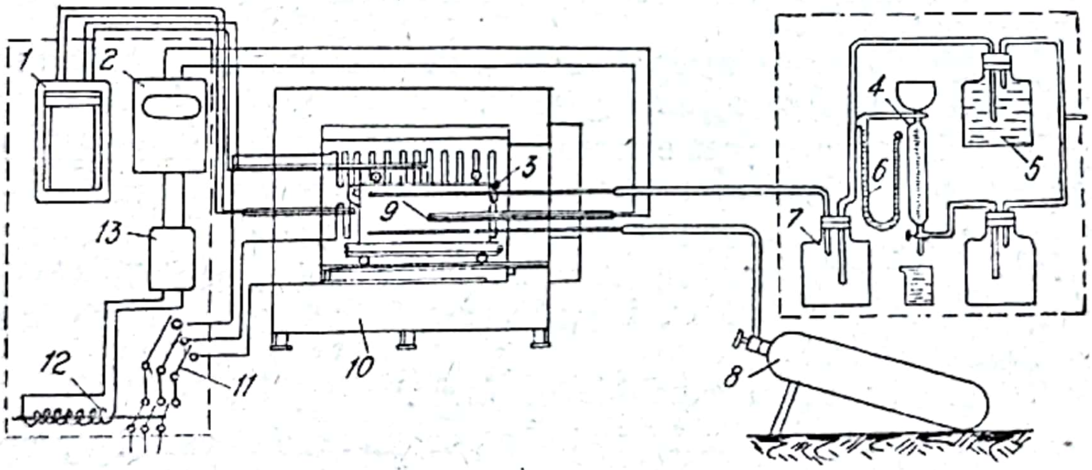


Fig. 94. Schema procesului de azotare:
1 — galvanometru cu înregistrare automată; *2* — galvanometru de control; *3* — container; *4* — disoceometru; *5* — sticla cu apă; *6* — tub gradat pentru măsurare; *7* — sticlă goală; *8* — tub cu amoniac; *9* — cuptor termoelectric; *10* — cuptor pentru nitrurare; *11* — întrerupător; *12* — ascensor; *13* — releu de oprire.

In unele cazuri azotarea se face timp de 80···90 ore.

La azotarea timp de 50 ore la 510 °C, adâncimea azotării ajunge la 0,35···0,40 mm.

După azotare piesele se răcesc încet şi sunt date în lucru fără nici un alt tratament termic.

O parte din amoniac, se descompune (disociază) la temperatura de 480···530 °C în azot şi hidrogen, după formula:

$$2NH_3 \rightleftarrows N_2 + 3\ H_2$$

Azotul pătrunde în oţel formând combinaţii chimice dure (azoturi).

La începutul azotării trebue menţinut un grad redus de disociere a amoniacului, deoarece în caz contrar se produce o cantitate mare de hidrogen, care produce o decarburare şi concomitent cu aceasta micşorează viteza de pătrundere în oţel a azotului.

Pentru determinarea gradului de disociere al amoniacului, disociometrul se umple cu gazul întrebuinţat şi apoi se introduce apă în el.

Deoarece apa disolvă integral amoniacul şi nu disolvă aproape de loc azotul şi hidrogenul care se formează la disocierea amoniacului, se determină gradul de disociere al amoniacului prin spaţiul liber neocupat de apă.

Procesul azotării este mai simplu decât procesul cementării.

Din cauză că la azotare piesele nu sunt supuse unei încălziri prea ridicate, încovoierea lor aproape că nu se produce.

Deoarece modificarea de volum la azotare este mică şi mai uniformă decât la cementare, aproape întotdeauna piesele se şlefuesc înainte de azotare.

La o azotare timp de 25, 50 şi 75 ore la temperatura de 520 °C, grosimea pieselor creşte respectiv cu 0,01, 0,015 şi 0,020 mm.

In aceste condiţii, adâncimea de azotare a stratului atinge 0,20, 0.35 şi 0,55 mm.

In fig. 95 sunt date curbele care arată influenţa temperaturii şi a duratei de azotare asupra durităţii şi adâncimii stratului.

Procesul de azotare permite să se obţină piesele cele mai complicate ca formă cu un strat exterior foarte dur şi în acelaşi timp să se păstreze dimensiunile exacte.

Piesele azotate îşi păstrează duritatea la încălzire până la 500 °C.

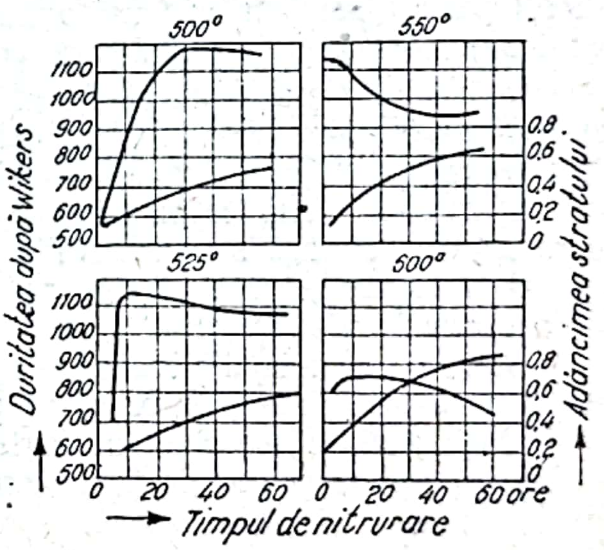


Fig. 95. Duritatea şi adâncimea stratului azotat în funcţie de temperatură şi de durata procesului (Lahtin)

Rezultate bune se obţin numai la azotarea oţelurilor speciale (nitroloy).

Oţelul 38 XMIUA pentru azotare, specificat în GOST, conţine 0,35···0,42% C; 1,35···165% Cr; 0,15···0,25% Mo şi 0,7···1,1% Al.

Aluminiul înlesneşte difuzarea azotului în oţel şi obţinerea unei durităţi superioare la suprafaţă, cromul măreşte rezistenţa, duritatea şi adâncimea stratului nitrurat, iar molibdenul înlătură fragilitatea

care poate lua naştere la o încălzire prelungită la temperatura de 480···550 °C şi o răcire lentă a oţelului după azotare.

Duritatea pieselor azotate cade brusc în secţiune (fig. 96), ceeace nu permite să se aplice această metodă în cazul unei încălziri mari a suprafeţei.

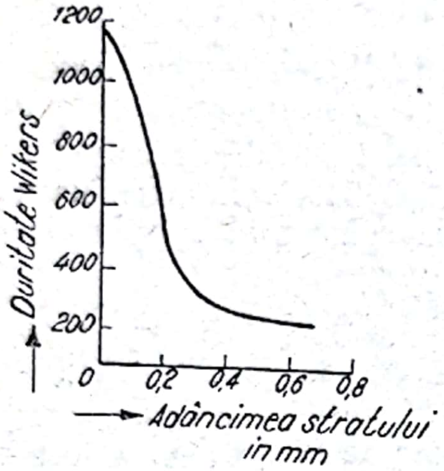


Fig. 96. Variaţie în duritatea stratului nitrural după adâncime (E. M. Morozova şi E. D. Spivac).

Piesele de maşini azotate, care lucrează în praf suferă mai puţin de uzură decât cele cementate.

De exemplu, lanţul de transmisie azotat al unui autocamion a lucrat neîntrerupt zece luni în condiţiuni grele, în timp ce un lanţ cementat a rezistat numai şase luni în aceleaşi condiţii.

Pentru a micşora duritatea procesului, azotarea se face la început la 500···520 °C şi apoi la 600 °C.

Cu toate că printr'un asemenea procedeu se obţine o duritate ceva mai mică decât în regimul obişnuit de azotare, în schimb ea se distribue mai uniform şi durata procesului se reduce cu 1,5···2 ori (pentru oţelul care conţine aluminiu).

In ultimul timp azotarea îşi găseşte întrebuinţare pentru mărirea rezistenţei pieselor supuse unor încărcări variabile, fabricate din oţeluri cu crom-molibden, crom-nichel-molibden şi alte oţeluri aliate.

In cazurile când se azotează numai unele părţi ale piesei, părţile care nu se azotează sunt acoperite.

Acoperirea se face cu ajutorul staniului, a silicatului de sodiu (Wasserglas), a aliajelor de staniu cu 30% plumb, a vopselelor, etc.

Staniul sau aliajul de staniu şi plumb, se topeşte la temperatura de azotare şi se menţine pe piese prin forţa tensiunii superficiale.

Dacă azotarea se produce la temperatura de 480···530 °C, stratul de staniu trebue să fie de 0,005 mm, iar la temperatura de 600 °C, de 0,05 mm.

Acoperirea cu staniu se poate face prin galvanizare sau prin metoda încălzirii, însă prin ultima metodă se consumă o cantitate mai mare de staniu.

Deoarece staniul la topire se întinde pe suprafaţă şi acoperă parţial părţile care urmează se fie supuse azotării, se poate recomanda ca aceste părţi să fie acoperite cu o peliculă de fosfat.

Staniul nu aderă la această peliculă şi înafară de aceasta, fosfatul accelerează procesul de azotare.

Intrebuinţarea vopselelor se bazează în majoritatea cazurilor de azotare pe faptul că staniul sau plumbul care intră în compoziţia vopselei, se reduce până la stare metalică, protejând astfel suprafaţa împotriva pătrunderii azotului.

Ca exemplu de astfel de acoperiri, poate fi vopseaua compusă din şase părţi SnO, o parte glicerină şi o cantitate mică de soluţie de acid clorhidric cu amoniac [1]).

Silicatul de sodiu folosit pentru protecţia contra azotării se prepară cu adaus de clorură de potasiu.

Piesele acoperite cu silicat de sodiu trebue bine uscate înainte de azotare.

Azotarea se foloseşte uneori în scopul de a proteja metalele împotriva coroziunii.

In acest caz, regimul de azotare depinde de compoziţia chimică a oţelului.

De exemplu, azotarea unui oţel cu conţinut redus de carbon se face la o temperatură de 700 °C (gradul de disociere al amoniacului 60%) timp de 30 de min; oţelurile U 7 şi U 10 se azotează la 780···790 °C timp de 7···10 min (gradul de disociere al amoniacului 75%).

După o azotare de acest gen piesele se răcesc în apă şi apoi sunt supuse la o revenire potrivit cerinţelor tehnice.

41. Cianurarea

Procesul de saturare a suprafeţei oţelului în mod concomitent cu carbon şi azot se numeşte cianurare.

Cianurarea, ca şi cementarea, are scopul de a obţine la suprafaţă o mare duritate şi rezistenţă la uzură şi de a păstra totodată un miez moale.

Cu tot conţinutul neînsemnat de carbon în stratul dela suprafaţă al pieselor cianurate, ele obţin după călire o duritate mare. Aceasta se explică prin prezenţa azotului în acest strat în cantitate de 0,5···0,8%.

De pildă, oţelul moale (0,04% carbon) după cianurare şi călire, având în stratul dela suprafaţă 0,3% carbon şi 0,5% azot, obţine o duritate egală cu duritatea unui oţel cu 1% carbon.

Pot fi cianurate orice fel de oţeluri, însă rezultate foarte bune se obţin la folosirea oţelurilor cu crom.

La cianurarea unui oţel de crom-nichel, în stratul superficial apar după călire loturi de austenită, care micşorează duritatea piesei.

La o revenire uşoară austenita trece în martensită, ceeace produce creşterea durităţii.

Siliciul micşorează viteza de cianurare şi de aceea conţinutul lui în oţel nu trebue să depăşească 0,4%.

Cianurarea se poate face în săruri topite, conţinând compuşi ai azotului cu carbonul, cu ajutorul gazelor (cianurare prin gaze) şi în substanţe solide.

---

[1]) S. F. Iuriev, Azotarea oţelului şi folosirea lui în construcţia de tractoare şi automobile. ONTI 1938.

In comparaţie cu cementarea, cianurarea are următoarele avantaje:

1) Durata procesului se micşorează de câteva ori.

2) Se elimină necesitatea împachetării pieselor în cutii.

3) Se elimină nevoia unor cuptoare mari pentru cementare.

4) Având în vedere acţiunea rapidă a cianurilor, durata de menţinere a pieselor în baie se întâmplă să fie aşa de neînsemnată, încât granulele oţelului nu au timpul necesar de creştere până la dimensiuni mari, de aceea călirea unor astfel de piese se poate face îndată după cianurare, fără o încălzire suplimentară.

5) Piesele cianurate au o suprafaţă curată, de culoare deschisă.

Procesul de cianurare are însă şi unele părţi negative, precum:

1) Volatilitatea sărurilor de cian, vaporii lor fiind foarte vătămători pentru sănătatea muncitorilor; baia cu astfel de săruri este necesar să fie acoperită cu un clopot prevăzut cu un coş cu tiraj puternic.

2) Scăderea bruscă a conţinutului de carbon în secţiunea piesei.

3) Formarea spumei la suprafaţa băii ceeace nu permite să se facă o încălzire parţială a pieselor.

4) Apariţia la suprafaţa pieselor a unui strat de CaO care se îndepărtează greu prin spălare, ceeace necesită o spălare minuţioasă în apă fierbinte.

5) Ruginirea (oxidarea) piesei, deşi a fost bine spălată în prealabil.

6) Având în vedere volatilitatea sărurilor care conţin compuşi cu cian, este necesar să fie adăugat în baie 1...2% săruri de cian după fiecare 1,5—2 ore.

La cianurarea în mediu lichid, piesele se afundă în baia care conţine săruri de cian şi se menţin la temperatura de cianurare dela 5 la 240 min (în funcţie de adâncimea necesară).

Din cauză că durata la cianurare este deobicei neînsemnată, cianurarea se face la o temperatură mai ridicată decât temperatura de călire cu 20...30 °C.

In majoritatea cazurilor, răcirea se face în apă şi mai rar în uleiuri minerale.

Nu se pot întrebuinţa uleiuri vegetale, deoarece, sub influenţa produselor sărurilor de cian, aceste uleiuri se saponifică şi prin aceasta împiedică obţinerea unei căliri puternice.

In majoritatea cazurilor durata variază între 10 şi 15 min.

O încălzire mai prelungită în baie poate duce la formarea unui strat fragil la suprafaţă.

Se recomandă să se facă o încălzire prealabilă a pieselor până la temperatura de călire, iar apoi se afundă pentru 15...120 s în baia de cianurare.

După călire piesele sunt supuse unei reveniri la 150 °C...170 °C.

In timpul cianurării, la temperaturile de 500...700 °C, se produce la început nitrurarea (pătrunderea azotului în oţel) şi apoi la creşterea

temperaturii începe procesul de carburare, în timp ce intensitatea nitrurării scade.

Mediul lichid pentru cianurare este format din săruri de cian: ferocianura de potasiu [$K_4Fe(CN)_6$], cianura de potasiu (KCN), cianura de sodiu (NaCN), cianura de calciu [$Ca(CN)_2$], amestecate în diferite proporţii cu sodă, clorură de sodiu, clorură de calciu sau clorură de bariu.

Deobicei sărurile de cian se întrebuinţează împreună cu soda şi sarea de bucătărie care servesc drept catalizatori (acceleratorii procesului) şi concomitent cu aceasta micşorează emanarea vaporilor de cian.

In tabela 16 este dată compoziţia sărurilor cu cianură de sodiu.

Primele patru amestecuri de săruri se întrebuinţează în calitate de adausuri pe măsura epuizării băilor în funcţiune.

Ultimele amestecuri se întrebuinţează fără adausul suplimentar de săruri neutre.

Nu se recomandă să se lucreze cu băi care conţin mai mult de 35% cianură de sodiu sau potasiu, deoarece aceasta nu duce aproape deloc la accelerarea cianurării şi nu ameliorează calitatea stratului cianurat.

Tabela 16

Compoziţia sărurilor de cian

Nr. amestecului	Cianură de sodiu	Soda	Sare de bucătărie
I	97,5	2,5	—
II	75	15	10
III	65	15	20
IV	55	25	20
V	45	35	20
VI	30	30	40
VII	30	40	30

Notă. Sărurile arătate conţin în calitate de adaus bicarbonat de sodiu, oxid de fier şi sulfură de sodiu.

Acţiunea băii de cianurare aproape că nu se schimbă la micşorarea conţinutului în cianură de sodiu până la 15%.

Nu se recomandă să se întrebuinţeze nici băi foarte sărace în cian. O asemenea baie se epuizează repede, ceeace se va resimţi asupra calităţii cianurării.

Mai mult încă, baia de cianurare prea epuizată va decarbura piesele.

Este necesar să se controleze concentrarea băii de două ori în cursul unui schimb şi să se încarce periodic baia cu săruri concentrate de cian.

Pentru micşorarea epuizării sărurilor de cian, se recomandă să se adauge în sarea topită cărbune presat sau grafit care reduc parţial sărurile de cian.

Băile cu cianură de sodiu trebue să lucreze la temperatura de 780 ... 850 °C.

A le încălzi la temperaturi mai înalte nu este economic, deoarece se produce o evaporare considerabilă a sărurilor de cian.

Stratul cianurat conţine 0,4 ... 0,7 % carbon. Conţinutul în azot depinde de concentrarea cianurii de sodiu sau potasiu din baie.

De exemplu, la o baie care are 30 % cianură de sodiu sau potasiu, conţinutul azotului în stratul dela suprafaţă ajunge la 0,8 %, în timp ce acest conţinut scade până la 0,55 % în cazul când concentrarea băii va scădea la 15 %.

Adâncimea stratului cianurat depinde de compoziţia şi temperatura băii, de dimensiunile piesei şi de durata încălzirii.

Cu cât piesa care se încarcă în aceeaşi baie este mai mare, cu atât adâncimea cianurării este mai mică şi va fi deasemenea mai mic şi conţinutul în azot şi carbon în stratul dela suprafaţă.

Greutatea pieselor încărcate nu trebue să depăşească 50 % din greutatea sării.

La o încălzire în săruri ce conţin cianură de sodiu sau potasiu, cianurarea decurge încet şi după un timp de 15 ... 30 de min adâncimea stratului cianurat ajunge la 0,08 ... 0,20 mm.

La mărirea duratei de cianurare, adâncimea se schimbă puţin.

De exemplu, folosind o baie din 50 % cianură de sodiu şi 50 % sodă, la o temperatură de 850 °C nu se poate obţine un strat cianurat de 1,0 mm adâncime chiar în timp de 5 ore.

Tabela 17 cuprinde date despre adâncimea şi duritatea stratului în funcţie de temperatură şi durata de cianurare.

Tabela 17

Adâncimea şi duritatea stratului cianurat în funcţie de temperatura şi durata cianurării (Cazachevici)

Durata în minute	825 °C		860 °C		890 °C	
	Adâncimea de cianurare	Duritate *Rc*	Adâncimea de cianurare	Duritate *Rc*	Adâncimea de cianurare	Duritate *Rc*
30	0,08	25	0,16	38	0,30	49
60	0,10	30	0,25	47	0,40	58
180	0,15	35	0,33	59	0,60	64
240	0,20	43	0,40	62	0,80	64

Pentru accelerarea procesului cianurării se recomandă să se adauge în baie clorura de stronţiu sau stronţiu cu carbon în cantitate de 20 %.

Se poate obţine un strat mai adânc întrebuinţând săruri care conţin cianură de calciu (circa 45 %).

Astfel de săruri se numesc „cianură neagră".

O compoziţie în acest fel se întrebuinţează în industria din U.R.S.S.

Ea conţine (în %):

CN	Cl	Ca	Na	CN_2	C	S	Alte adausuri
20 ... 22	20	32,5	12	2 ... 3	5,5	1,0	2 ... 3

Intrebuinţarea cianurii negre permite să se obţină un strat cianurat mare; de exemplu, un strat cu adâncime de 0,8 mm ce se poate obţine în timp de 3 ore.

Cianurile se introduc în baie într'un coş cu găuri, acoperit. Uneori cianurile nu se introduc integral, operaţia făcându-se prin introducerea mai multor cantităţi parţiale mai mici.

Spuma neagră care se formează se îndepărtează cu un căuş.

Această spumă este formată din carbon amorf.

Inainte de a se scoate piesa din baia de cianurare este necesar să se înlăture cu grijă spuma de pe suprafaţa sării, deoarece prezenţa acestei pelicule (pietrei de calcar) lipite de piese contribue la apariţia petelor moi.

La afundarea piesei în baie trebue să se observe ca pe suprafaţa piesei să nu existe apă, deoarece în acest caz poate să se producă o explozie din cauza formării vaporilor.

Dăm câteva exemple de pregătirea băilor pentru cianurare.

1) Se topeşte circa 35% (în greutate) sare de bucătărie şi 65% clorură de calciu, se ridică temperatura până la 760 °C ... 780 °C şi se introduce în baie 0,5 ... 1 % sare de cian, care conţine:

cianamidă de calciu ($CaCN_2$)	2,0 ... 5,0 %,
cianură de calciu [$Ca(CN)_2$]	33,0 ... 36,0 %,
cianură de sodiu ($NaCN$)	10,0 ... 12,0 %,
sare de bucătărie ($NaCl$)	30,0 ... 35,0 %,
oxid de calciu (CaO)	14,0 ... 16,0 %,
carbon	4,0 ... 5,0 %.

O asemenea baie permite să se lucreze la temperatura de 775 °C ... 900 °C, fiind necesar să se adauge 1% sare de cian, după fiecare oră.

Incălzind în această baie la 900 °C un oţel cu 0,20% carbon şi 0,45% mangan, se poate obţine următoarea grosime a stratului cianurat:

la o încălzire de 45 ... 60 min . . .	până la 0,25 ... 0,30 mm;
la o încălzire de 60 ... 90 min . . .	până la 0,30 ... 0,42 mm;
la o încălzire de 90 ... 120 min . .	până la 0,42 ... 0,55 mm.

Mărirea duratei de menţinere peste durata arătată mai sus aproape că nu schimbă adâncimea de cianurare, însă contribue la formarea unei mari cantităţi de cementită în stratul dela suprafaţă.

2) Se amestecă 65% sare de bucătărie cu 35% sodă, şi se încălzeşte compoziţia până la 820 °C.

In soluţia lichidă a sărurilor se adaugă 3,5% săruri de cian, în cantităţi mici. După aceea se urcă temperatura băii până la 850 °C ... 870 °C (temperatura de călire).

Se menţine baia la această temperatură circa două ore pentru topire şi amestecarea sărurilor de cian şi apoi se înlătură un strat mic de spumă dela suprafaţă; o parte din spumă se lasă la suprafaţă pentru protejarea băii împotriva arderii carbonului.

Pentru cianurare în această baie piesele se împart pe grupe, după compoziţia chimică:

1) oţeluri carbon moi, cu conţinut de carbon între 0,15 ... 0,25 %;
2) oţeluri cu duritate mijlocie cu conţinut de carbon de 0,25 ... 0,35 %;
3) oţeluri dure, cu conţinut de carbon de 0,35 ... 0,45 %.

Adâncimea cianurării după o durată de 25 ... 60 min ajunge la 0,15 ... 0,30 mm şi nu se formează la suprafaţă cementită liberă.

După două ore de funcţionare i se adaugă băii săruri de cian (2% din greutatea întregii băi).

Pentru accelerarea procesului, A. N. Minchevici[1]) a propus să se execute o cianurare pe cale de electroliză şi o cianurare cu trecerea unui curent de amoniac prin baia de cianurare.

In cazul cianurării prin electroliză, oţelul se introduce sub formă de anod sau catod în baia de cianurare prin care trece un curent continuu de joasă tensiune (6—12 V). Cianurarea se face la temperatura de 640 °C.

Din cauza temperaturii înalte acest procedeu nu se poate aplica pentru cianurarea sculelor finite din oţel rapid.

Inafară de aceasta, el mai are şi alte neajunsuri (o instalaţie complicată, atacarea suprafeţei oţelului etc.).

Un procedeu mai perfecţionat pentru cianurarea accelerată este cianurarea cu trecerea unui curent de amoniac încălzit, prin baie.

Ambele procedee se găsesc în stadiul experienţelor de laborator.

CAPITOLUL VIII

OŢELURILE ALIATE

Oţelurile care conţin elemente speciale (Cr, V, W, Ni, Mo, AL, Cu, etc) sau cantităţi însemnate de siliciu şi mangan se numesc speciale sau aliate.

Elementele de aliere pot forma aliaje solide şi combinaţii chimice (carburi), care schimbă în mod considerabil calităţile oţelului cu care au fost aliate.

---

[1]) Teoria şi practica metalurgiei. Culegere de lucrări ale Institutului Oţelului „Stalin" din Moscova. Oboronghiz 1939.

Introducerea în oţel a adausurilor speciale urmăreşte scopuri diferite:

1) mărirea rezistenţei (obuze speciale pentru blindaj, piese de turbine şi automobile etc,); 2) mărirea capacităţii de a rezista la ruginire şi la acţiunea corozivă a acizilor şi gazelor încălzite (table pentru blindajul vaselor, aparatură pentru industria chimică, grătare, armatură pentru cuptoare, ţevi de arme); 3) mărirea rezistenţei la uzură (piese pentru escavatoare, filiere de trefilare); 4) mărirea proprietăţilor de tăiere (cuţite pentru strung, freze, burghie şi alte scule etc.).

Folosirea oţelurilor aliate permite să se micşoreze greutatea piesei păstrându-se însă rezistenţa, ceeace în ultimă analiză duce la o economie de oţel şi fonduri dat fiind costul mai ridicat al acestor oţeluri.

Pentru ca oţelul care conţine în cantităţi anumite adausurile de aliere să aibă calităţi speciale, trebue supus şi unui tratament special.

De exemplu, pentru ca sculele din oţel rapid (după compoziţia chimică) să aibă întradevăr proprietatea de a tăia metale la viteze mari, este necesar să fie supuse unui tratament termic adecvat; pentru ca plăcile de blindaj să aibă rezistenţă contra obuzelor, ele trebue să fie supuse unui tratament termic corespunzător.

In prezent, este greu să se arate un domeniu în care oţelurile aliate să nu-şi fi găsit aplicare.

Oţelurile aliate pot fi împărţite în oţeluri pentru construcţii, pentru scule şi oţeluri cu proprietăţi speciale.

In anexa *II* este dată compoziţia chimică, iar în anexa *III* proprietăţile mecanice ale calităţilor de oţel pentru construcţii, întrebuinţate în industria din U.R.S.S. (GOST 4543 ··· 48).

In definirea calităţii oţelului standard (de exemplu 12XN2) s'a aplicat următorul principiu:

Cele două cifre din partea stângă a literelor, arată conţinutul mediu de carbon în sutimi de procent (indicate cu literele ruseşti). Literele aflate în partea dreaptă a acestor cifre indică: W — Wolfram, G — mangan, M — molibden, N — nichel, C — siliciu, Iu — aluminiu, F — vanadiu, X — crom. Ciferele din partea dreaptă a literelor arată conţinutul aproximativ al elementelor corespunzătoare, dacă acest conţinut este mai mare de 1%.

Trebue să avem în vedere că rezilienţa unor oţeluri aliate scade brusc dacă revenirea se face în aşa numitul interval al fragilităţii 200 °C ··· 400 °C, sau dacă oţelul se răceşte lent după revenire dela temperatura de 450 °C ··· 650 °C.

Rezilienţa oţelului supus unei reveniri la temperatura de 200 ··· 400 °C nu depinde de viteza de răcire după revenire.

In tabela 18 este dată rezilienţa oţelului 40 H după revenire la diferite temperaturi, timp de 3 ore.

Răcirea după revenire se face în apă.

S'a stabilit că scăderea rezilienţei la revenire în intervalul 200 °C ··· 400 °C este legată de transformarea resturilor de austenită în martensită.

Oţelurile cu carbon nu scad rezilienţa la revenire în intervalul arătat.

Acest fel de fragilitate a căpătat denumirea de fragilitate ireversibilă, spre deosebire de fragilitatea de revenire, care apare la o răcire lentă a unor oţeluri (de exemplu cu mangan, crom-nichel) după revenirea dela temperaturi înalte şi care poate fi înlăturate printr'o încălzire până la 600 °C ··· 650 °C cu o răcire ulterioară rapidă.

Dacă oţelul are fragilitate ireversibilă, atunci revenirea lui nu poate fi făcută în intervalul 200 °C ··· 400 °C.

Tabela 18

Rezilienţa oţelului 40 H după revenire la diferite temperaturi

Temperatura de revenire în °C	Rezilienţa kgm/cm²
150	3,5
250	3,2
300	1,8
400	5,2
500	7,7
600	15,2
700	20,0

Fragilitatea de revenire poate apărea şi la temperaturile de 400 °C ··· 450 °C, dacă durata de menţinere a oţelului se va prelungi mult timp.

La durata de menţinere prelungită viteza de răcire după revenire nu are importanţă, iar fragilitatea se va observa chiar la o răcire rapidă.

Fragilitatea de revenire are influenţă numai asupra rezistenţei la şoc, în timp ce celelalte proprietăţi mecanice şi microstructura rămân fără schimbare.

Cu toate că s'au făcut multe lucrări în legătură cu stabilirea naturii fragilităţii de revenire, până în prezent, această problemă nu şi-a găsit rezolvarea.

Oţelul de creuzet şi oţelul din cuptoarele electrice bazice sunt mai puţin sensibile la fragilitatea de revenire decât oţelul acid, care posedă o sensibilitate maximă la fragilitatea de revenire.

Oţelurile cu molibden nu sunt sensibile la fragilitatea de revenire dacă durata de revenire nu depăşeşte 240 ore.

In fig. 97 sunt indicate datele care ilustrează scăderea rezistenţei unui oţel Cr – Ni – Mo la o revenire timp de 500 ore.

Oţelul este călit în prealabil la 850 °C în ulei, i se face o revenire la 620 °C timp de 1 oră şi se răceşte în aer.

După a doua revenire de lungă durată, oţelul se răceşte în cuptor (10 ··· 20 °C pe oră).

Fragilitatea de revenire se observă numai la încălzirea în intervalul arătat (400 ··· 650 °C).

Dacă încălzirea se face mai sus sau mai jos de acest interval, fragilitatea oţelului la o răcire lentă nu se observă.

Folosirea oţelului cu un conţinut minimal în mangan şi fosfor micşorează fragilitatea de revenire.

Fragilitatea de revenire este mai puţin accentuată la oţelurile cu conţinut scăzut în carbon.

Un oţel care a obţinut fragilitatea de revenire poate fi îndreptat cu ajutorul unei noi încălziri până la 650 °C cu o răcire ulterioară rapidă.

Există mai multe teorii asupra cauzelor fragilităţii de revenire, asupra cărora nu se va insista deoarece expunerea lor iese din cadrul prezentei cărţi.

Practic, problema fragilităţii de revenire este rezolvată relativ uşor: o răcire rapidă înlătură fragilitatea de revenire.

Un adaus de molibden în oţel, chiar în cantităţi mici (0,2—0,5%), micşorează sensibilitatea oţelului faţă de fragilitatea de revenire.

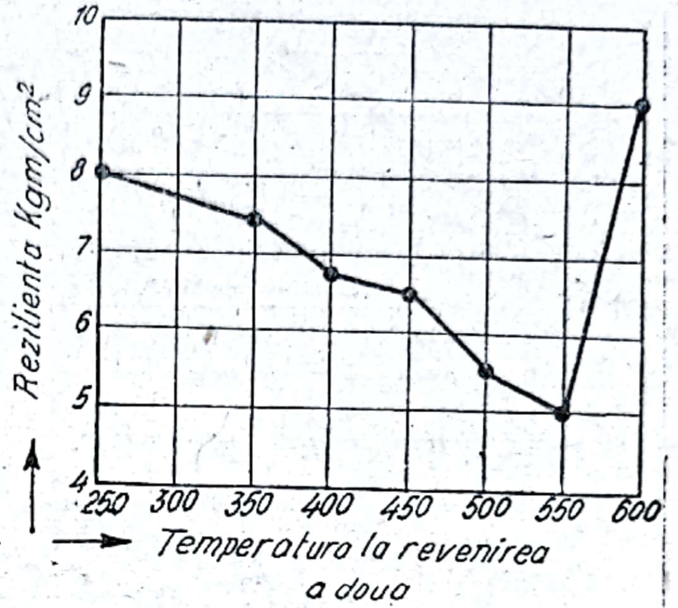


Fig. 97. Influenţa temperaturii unei reveniri prelungite (timp de 500 ore) asupra rezilienţei la un oţel Cr - Ni - Mo, călit în prealabil şi revenit la 620 °C.

Inainte de a examina oţelurile aliate după calităţi, trebue să se cunoască influenţa fiecărui element de aliere asupra oţelului carbon.

42. Influenţa adausurilor de aliere asupra calităţii oţelului

Carbonul. Proprietăţile oţelului se modifică simţitor în funcţie de conţinutul în carbon.

Odată cu creşterea carbonului în oţel, se măreşte duritatea, rezistenţa de rupere, limita de elasticitate, însă se micşorează alungirea, gâtuirea la rupere şi rezilienţa (fig. 98).

Carbonul contribue la formarea unei zone de segregaţie, fapt care are o influenţă deosebită în special la oţelurile aliate. Carbonul influenţează negativ asupra sudabilităţii (capacitatea oţelului de a se suda).

Un oţel cu conţinut mare de carbon posedă o sudabilitate redusă în comparaţie cu oţelul moale.

După cum se vede din diagrama de echilibru (fig. 16), carbonul coboară punctele critice Ac_3 în oţelul hipoeutectoid şi ridică punctele Ac_{cm} în oţelul hipereutectoid.

Odată cu creşterea conţinutului în carbon sensibilitatea oţelului la călire creşte (prin sensibilitate la călire se înţelege proprietatea oţelului de a se căli pe o adâncime mai mare sau mai mică în interiorul piesei).

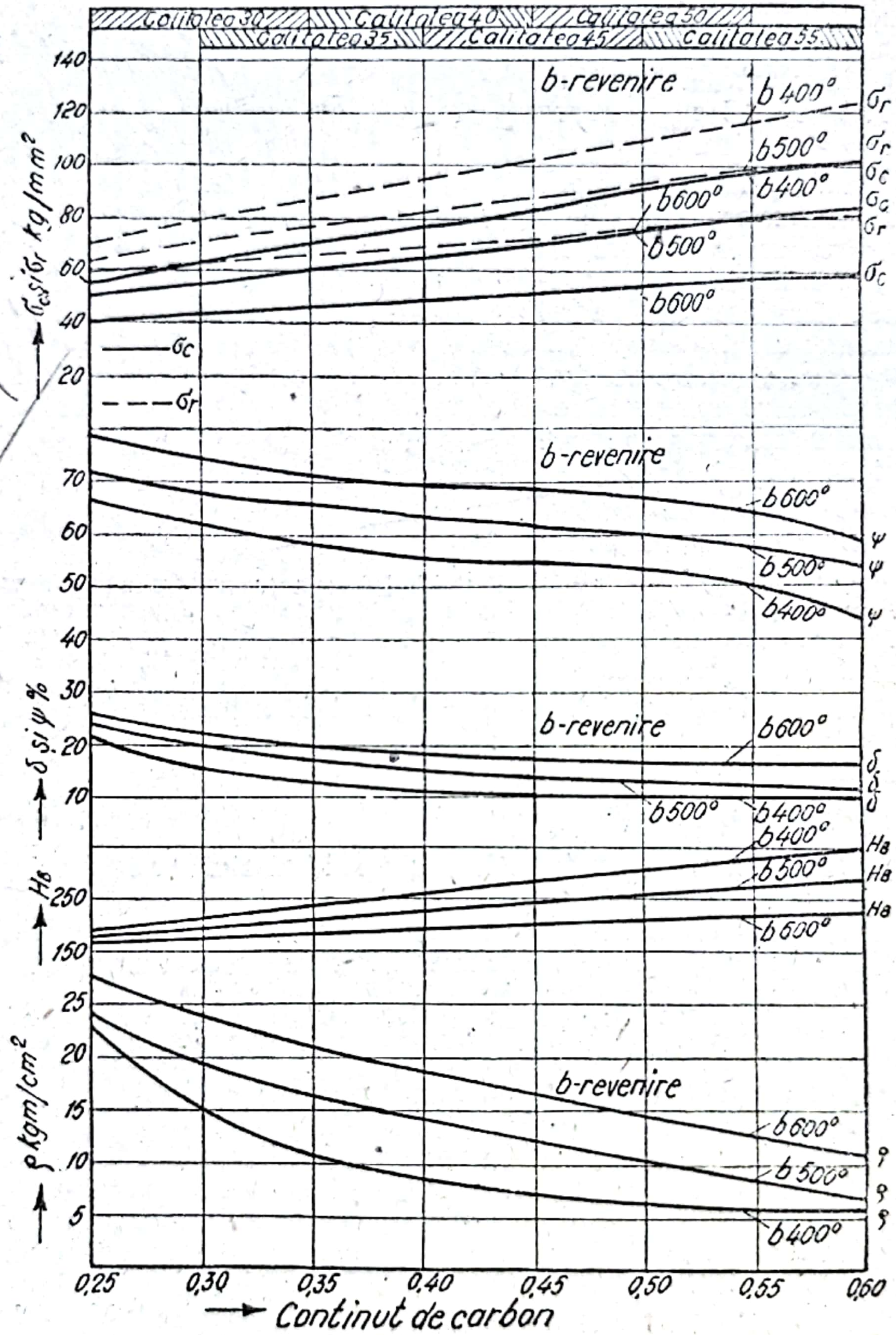


Fig. 98. Proprietăţile mecanice ale oţelului carbon pentru construcţii, în funcţie de conţinutul în carbon şi temperatura de revenire.

Această proprietate creşte în raport cu mărirea conţinutului în carbon numai până la 0,9% C; un procent mai mare de carbon acţionează în sens invers.

Este necesar să se menţioneze că proprietatea de călire a oţelului carbon este neînsemnată (fig. 66), ceeace este un mare defect al lui.

Manganul. Manganul se găseşte în cantităţi mici în toate oţelurile, deoarece acest lucru este condiţionat de însuşi procesul de elaborare al oţelului.

In caz contrar, oţelul va avea un conţinut ridicat în oxid de fier (FeO) care scade calităţile oţelului.

Inafară de aceasta, manganul paralizează acţiunea negativă a sulfului, legându-l sub formă de sulfură de mangan care se îndepărtează odată cu sgura.

El face metalul mai dens şi-i ameliorează foarte mult proprietăţile.

In acelaşi timp însă manganul contribue la creşterea granulelor ceeace, după cum se ştie, cauzează apariţia fisurilor în piese, în timpul călirii.

Se recomandă să se producă oţel manganos cu granulaţie măruntă (numărul 6···8).

Manganul coboară punctele critice Ac_1, Ar_1, Ar_2. El micşorează conţinutul în carbon din perlită şi la un procent de 2% mangan perlita va avea 0,75% carbon.

Manganul, analog carbonului, măreşte duritatea, rezistenţa de rupere, limita de curgere, sensibilitatea la călire şi contribue la urcarea durităţii oţelului la răcirea în aer. Gradul de influenţă al manganului asupra proprietăţilor arătate depinde de cantitatea de mangan şi carbon din oţel.

De exemplu, la un conţiuut de 4,0 până la 6,0% mangan, un oţel cu 0,70···0,85% C devine atât de fragil, încât uneori se poate rupe în timpul prelucrării la strung; la un conţinut în mangan dela 12 până la 14% oţelul devine foarte dur.

Este interesant de notat că duritatea unui oţel cu conţinut redus în carbon creşte cu mărirea conţinutului în mangan până la 2%, în timp ce aceeaşi mărire a conţinutului de mangan în oţelurile cu conţinut mediu de carbon duce la scăderea durităţii.

Acţiunea manganului asupra proprietăţilor mecanice este puţin mai slabă decât acţiunea carbonului. Creşterea conţinutului în mangan cu 0,2···0,3%, are aceeaşi influenţă ca şi o creştere a carbonului de 0,1%.

Manganul în cantitate de maximum 12%, influenţează negativ asupra sudabilităţii oţelului.

La un conţinut în mangan peste 12%, oţelul îşi recapătă sudabilitatea.

9*

9.11.3 *Siliciul.* Siliciul măreşte duritatea, rezistenţa de rupere, limita de curgere şi în special foarte mult, limita de elasticitate.

Siliciul acţionează negativ asupra alungirii, gâtuirii la rupere şi rezilienţei.

Datorită proprietăţii de a urca elasticitatea oţelului, siliciul şi-a găsit întrebuinţare la fabricarea oţelurilor pentru arcuri.

In aceste piese conţinutul în siliciu ajunge la 2,5%.

O urcare a conţinutului în siliciu peste procentul arătat complică lucrul cu un asemenea oţel şi cere o mare atenţie la tratarea termică, deoarece siliciul contribue la grafitizare.

Soluţia solidă pe care o formează siliciul cu ferita posedă o mare rezistenţă electrică. Această constatare a făcut ca oţelurile cu conţinut ridicat de siliciu, să se întrebuinţeze foarte frecvent în industria electrotehnică.

Oţelul de transformator conţine până la 0,02% carbon şi 3,8...45% siliciu; oţelul pentru dinam are până la 0,1 % carbon şi dela 1 până la 2,5 % siliciu.

Siliciul influenţează negativ asupra capacităţii de sudare a oţelului.
Siliciul urcă puţin punctele critice atât la încălzire, cât şi la răcire.
Impreună cu fierul formează o soluţie solidă (ferită silicioasă).
Siliciul coboară conţinutul carbonului în perlită.

9.11.4 *Cromul.* Cromul, analog manganului, măreşte rezistenţa de rupere, limita de curgere şi de elasticitate, duritatea şi sensibilitatea la călire.

In oţelurile cu conţinut mediu de carbon, un adaus de 0,5 % crom contribue după tratamentul termic la o urcare a rezistenţei de rupere şi a limitei de elasticitate cu 15...20 %.

Cromul contribue la obţinerea unei mari durităţi la răcirea oţelului în aer (în special la oţelurile care conţin nichel şi cupru).

Aceasta se explică prin faptul că cromul reduce viteza de descompunere a soluţiei solide şi astfel contribue la formarea unei structuri de martensită şi troostită.

Asupra alungirii şi gâtuirii la rupere, cromul acţionează slab în sensul scăderii, în schimb rezilienţa o scade considerabil.

Un adaus de crom în combinaţie cu nichel sau vanadiu dă oţelului calităţi pozitive şi un asemenea oţel se prelucrează uşor la strung după o recoacere adecvată.

Cromul împiedică creşterea granulelor, micşorând sensibilitatea oţelului la supraîncălziri, ceeace reprezintă o proprietate preţioasă în producţie.

La un conţinut de 0,6...0,9% crom, oţelurile mangan îşi micşorează tendinţa lor la formarea fisurilor.

Deoarece cromul formează cu carbonul carburi solide foarte rezistente care măresc capacitatea de tăiere a sculelor, oţelul crom şi-a găsit o largă întrebuinţare în industrie ca oţel de scule.

Cromul micşorează conţinutul carbonului în perlită (fig. 99).

El urcă punctele critice Ac_1 şi Ac_3 (la încălzire), în timp ce la răcire punctul Ar_3 coboară, iar punctul Ar_1 urcă.

O mare influenţă asupra punctelor critice ale oţelurilor crom o are atât viteza de răcire cât şi temperatura de încălzire.

Cu cât temperatura de încălzire este mai ridicată şi cu cât viteza de răcire este mai mare, cu atât coborîrea punctelor critice este mai accentuată. Această acţiune se intensifică odată cu creşterea conţinutului de crom şi carbon.

9.11.5 *Nichelul.* Adausul de nichel în oţelul carbon măreşte duritatea şi rezistenţa, micşorând foarte puţin alungirea şi gâtuirea la rupere.

Se consideră că fiecare procent de nichel (până la 5%) măreşte rezistenţa de rupere şi limita de curgere cu 3...4 kg/mm².

Nichelul micşorează conţinutul carbonului în perlită şi face structura sa mai fină.

Oţelul cu 3% nichel şi 0,70...0,75% carbon, la o încălzire lentă, este compus numai din perlită.

Nichelul contribue la formarea sensibilităţii la călire şi obţinerea unei durităţi mărite, la răcirea oţelului în aer. Nichelul acţionează negativ asupra capacităţii de sudare a oţelului.

Nichelul se disolvă în fier şi nu formează carburi.

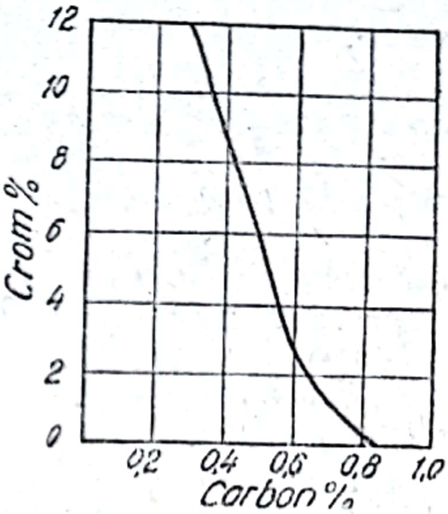


Fig. 99. Influenţa cromului asupra conţinutului de carbon în perlită.

Impreună cu alte elemente (crom, wolfram) dă oţelului proprietăţi superioare.

Nichelul nu se întrebuinţează în calitate de adaus de aliere la oţelurile de scule, deoarece înrăutăţeşte capacitatea de tăiere a sculelor.

Acest element contribue la micşorarea granulei şi coboară mult punctele critice, în special la răcire.

Se poate considera aproximativ, că fiecare procent de nichel coboară punctul Ar_1 cu 25 °C, iar punctul Ac_1 cu 10,5 °C.

9.11.6 *Wolframul.* Wolframul adăugat unui oţel cu carbon îi măreşte rezistenţa.

Intr'un oţel, conţinând până la 9% wolfram, alungirea şi gâtuirea la rupere coboară foarte puţin, în comparaţie cu oţelul carbon, însă într'un oţel conţinând mai mult de 9% wolfram, alungirea şi gâtuirea la rupere scad foarte mult.

Wolframul contribue, într'o măsură mai mică decât cromul, la mărirea durităţii şi a proprietăţii de călire a oţelului, la răcirea acestuia în aer.

Wolframul influenţează negativ asupra proprietăţii oţelului de a se suda şi la un conţinut de 2% wolfram oţelul se sudează foarte greu.

Wolframul leagă carbonul sub formă de carburi, iar oţelul conţinând 22% wolfram îşi pierde proprietatea de călire.

In acest caz nu se formează o soluţie solidă, deoarece tot carbonul se întrebuinţează la formarea carburilor de wolfram.

Un adaus de alte elemente, ca de exemplu cromul, face oţelul capabil a primi călirea chiar la un conţinut ridicat de wolfram.

Prezenţa de wolfram contribue la obţinerea unui oţel cu structura granulată măruntă.

Oţelurile wolfram au o conductibilitate termică redusă şi de aceea piesele fabricate din aceste oţeluri trebue încălzite şi răcite cu atenţie.

Oţelurile wolfram, călite, care au conţinut ridicat de wolfram, nu-şi pierd duritatea la încălzire până la 500 ··· 600 °C, ceeace a dus la folosirea acestor oţeluri pentru fabricarea sculelor de tăiere care lucrează la viteze mari.

Punctele critice sunt coborîte de wolfram dacă temperatura de încălzire este mai înaltă decât aşa numita temperatura scăzută (900 ··· 1200 °C) care este cu atât mai înaltă, cu cât conţinutul de carbon şi de wolfram din oţel este mai mare.

Dacă un oţel cu wolfram se încălzeşte mai jos de această temperatură, coborîrea punctelor critice nu mai are loc.

Conţinutul de carbon din perlită se micşorează cu creşterea wolframului în oţel.

Molibdenul. Molibdenul acţionează asupra oţelului de câteva ori mai puternic decât wolframul.

Molibdenul face oţelul stabil în ceeace ce priveşte creşterea granulelor şi datorită lui ruptura are un aspect fibros.

In majoritatea cazurilor molibdenul serveşte drept adaus la alte oţeluri aliate şi contribue ca acestea să obţină o granulaţie măruntă; el micşorează creşterea granulelor la încălzire, măreşte capacitatea de călire, ridică duritatea oţelului la răcirea în aer şi face ca aceste oţeluri să obţină proprietăţi mecanice mai bune.

Molibdenul coboară sensibilitatea oţelurilor la apariţia fragilităţii de revenire.

Un adaus de molibden chiar în cantităţi neînsemnate (0,15—0,35%), înlătură foarte frecvent acest defect.

O coborîre apreciabilă a punctelor critice se produce numai la încălzirea într'un interval determinat de temperaturi.

Dacă un oţel molibden se încălzeşte mai jos sau mai sus de acest interval, coborîrea punctelor critice are loc într'un grad mai slab.

Molibdenul micşorează considerabil conţinutul de carbon în perlită.

Vanadiul. Vanadiul este cel mai bun dintre elementele de aliere cunoscute până în prezent.

El măreşte rezistenţa, elasticitatea, duritatea şi rezilienţa şi numai într'o măsură foarte mică, micşorează alungirea relativă.

Menţionăm că acţiunea pozitivă a vanadiului asupra oţelului se observă la un conţinut de vanadiu până la 0,5···0,7%. O mărire ulterioară a conţinutului de vanadiu nu schimbă calitatea oţelului, iar în unele cazuri, la un conţinut mai mare de 1%, chiar o înrăutăţeşte.

Vanadiul contribue la finisarea puternică a granulelor oţelului, împiedicând deasemenea creşterea lor peste măsură la supraîncălziri.

El măreşte capacitatea de călire şi ajută la obţinerea unei durităţi superioare la răcirea oţelului în aer. La un conţinut nu prea mare al vanadiului în oţel, aceste proprietăţi aproape nu se schimbă.

Vanadiul se adaugă în oţelurile de scule şi în oţelurile de calităţi speciale.

Pînă Aci

Un adaus de maximum 0,2% vanadiu, urcă punctul Ar_1 (la răcire) aproximativ cu 10 °C, însă o mărire ulterioară a vanadiului nu modifică poziţia acestui punct.

Punctul Ar_3 la răcire se urcă proporţional cu conţinutul în vanadiu.

43. Oţelurile nichel

Oţelul nichel posedă proprietăţi bune pentru turnătorie, se forjează bine şi nu cere măsuri speciale de precauţie la prelucrarea la cald.

La turnare se formează retasură destul de importantă.

Oţelurile nichel au tendinţa de grafitizare ceeace se observă la o răcire lentă a acestora când se separă grafitul, reducând proprietăţile mecanice ale oţelului.

Conţinutul în siliciu favorizează grafitizarea oţelului nichel, în timp ce introducerea cromului şi în special a molibdenului, în oţelul nichel, înlătură grafitizarea.

Din cauză că ferita cu nichel trece lent în austenită, oţelul nichel se menţine la temperatura de călire timp mai îndelungat sau se încălzeşte înainte de călire până la o temperatură mai înaltă în comparaţie cu un oţel carbon de aceeaşi compoziţie. Oţelul nichel posedă proprietatea de a suporta şocuri.

Calităţile lui sporesc în special după călire şi revenire.

Nichelul şi-a găsit o largă întrebuinţare nu numai la oţelurile de construcţii dar şi la oţelurile de cementare şi la cele de îmbunătăţire.

De exemplu un oţel de compoziţie: 0,08···0,20% carbon şi 1,5···6,0% nichel se întrebuinţează pentru fabricarea pieselor cementate, iar oţelul

conţinând 0,20···0,45% carbon şi 0,9···5,0% nichel, se întrebuinţează pentru piese de construcţii.

Un exemplu de modul de întrebuinţare al oţelurilor nichel este dat de tabela 19 (după datele lui Contorovici).

Tabela 19

Intrebuinţarea oţelurilor nichel

Conţinut în %		Intrebuinţarea oţelului
C	Ni	
0,1 —0,2	0,5 —0,75	Axe cu came.
0,1 —0,2	1,5	Roţi dinţate.
0,1 —0,2	1,0 —2,0	Rame, şasiuri, ţevi, nituri, table.
0,25—0,35	2,75—3,5	Axul din faţă la automobil, pârghii, biele de motor, console de arcuri, pârghiile volanului, supape.
0,15—0,35	3,25—3,75	Chei pentru automobil, piese pentru locomotivă.
0,1 —0,2	3,5	Roţi dinţate cementate.
0,2 —0,3	5,0	Supapele automobilului.
0,25—0,45	5,0	Arbori cotiţi şi axe de transmisii, axe, biele.
0,15	4,5 —6,0	Piesele cementate dela motocicletă.

Inafară de proprietăţi mecanice superioare, oţelurile nichel de cementare, mai au următoarele caracteristice:

1) sunt mai puţin sensibile la supraîncălzire, fenomen care însoţeşte deobicei cementarea şi de aceea permite, în unele cazuri, să se înlocuească un tratament termic complicat prin unul mai simplu, fără o apreciabilă scădere a durităţii;

2) majorarea conţinutului în carbon în stratul cementat se produce mai uniform;

3) cementând un oţel nichel cu un conţinut determinat de nichel, se poate obţine la o răcire lentă un strat dur de martensită la suprafaţă şi un miez moale. Pentru aceasta este necesar să se obţină următoarea combinaţie de carbon şi nichel:

Ni %	2	3	4	5	6	7
C %	1,50	1,30	1,10	0,95	0,85	0,75

Folosind acest procedeu se poate evita o călire cu ajutorul unei răciri brusce ceea ce va înlătura încovoierea pieselor.

Piesele principale fabricate din oţel nichel, după cementare la 870···950 °C se răcesc lent şi se supun unei duble căliri.

Temperatura primei şi celei de a doua căliri se alege în funcţie de conţinutul în carbon şi nichel (tab. 20).

Tabela 20

Temperatura primei şi celei de a doua căliri a oţelului nichel

Conţinutul în Ni%	2,0—2,5				3,0—3,5			
Conţinutul în C %	0,10	0,15	0,20	0,25	0,10	0,15	0,20	0,25
Temperatura călirii I. °C	840	830	820	800	830	820	800	780
Temperatura călirii II. °C	730—740				715—730			

Unele fabrici aplică pentru aceste oţeluri o temperatură mai înaltă la prima călire (870 °C) ceea ce se explică, după cum s'a spus mai sus, prin trecerea lentă a feritei cu nichel în soluţie solidă γ.

La un tratament termic complicat piesele se pot răci după prima călire până lă o culoare întunecată şi apoi se pot încălzi din nou.

O foarte mare întrebuinţare în industrie au oţelurile conţinând 0,20···0,30% C şi 0,50···0,90% sau 2,75···3,25% nichel.

Deobicei li se adaugă crom, molibden, mangan, vanadiu, etc.

In tabela 21 sunt arătate datele referitoare la proprietăţile mecanice ale oţelului nichel, pentru partea centrală a semifabricatelor cu diametrul de 40, 60 şi 80 mm, după călire şi revenire.

Tabela 21

Proprietăţile mecanice ale oţelului nichel după călire şi revenire

Conţinut în % C	Conţinut în % Ni	Temperatura de călire	Mediul de răcire	Temperatura de revenire	Dimensiunea semi fabricatelor	Limita de curgere σ_c în kg/mm²	Rezistenţa de rupere σ_r în kg/mm²	Alungirea δ în %	Gâtuirea la rupere ψ în %	Rezilienţa ρ în kgm/cm²
0,20—0,30	0,50—0,90	800 °C	Apă	620 °C	40	55	70	17	51	13
					60	47	62	18	50	13
					80	45	58	18	50	13
0,20—0,30	2,75—3,25	820 °C	Ulei	500 °C	40	82	91	16	46	8
					60	71	80	17	48	7,5
					80	65	75	17,5	50	7,0

O mare întrebuințare o au aliajele cu nichel care posedă proprietăți speciale foarte importante pentru tehnică.

Din acestea fac parte aliajele care au un coeficient determinat de dilatare termică, un coeficient mic de dilatare liniară, etc. De exemplu, aliajul numit platinită (0,15% C și 46% Ni) are un coeficient de dilatare termică egal cu platina și sticla; aliajul feronichel (0,3⋯0,5% C. și 25⋯35% Ni) posedă stabilitate împotriva coroziunii, o mare duritate și un coeficient de dilatare mic.

Platinita se întrebuințează la fabricarea filamentelor pentru lămpile de radio, a pieselor pentru aparate de radio etc.

Feronichelul se întrebuințează la fabricarea pieselor pentru aparatele de geodezie, a supapelor și tijelor motoarelor cu combustie internă, sârmă pentru reostate etc.

Aliajul permaloy (0,03% C; 21,5% Fe și 78% Ni) se folosește în aparatele electrotehnice.

44. Oțelurile crom și oțelurile crom-molibden

Proprietățile de turnare ale oțelurilor crom sunt satisfăcătoare.

Forjarea acestori oțeluri trebue executată la temperaturi ridicate, însă este necesar ca oțelul să nu se supraîncălzească.

Oțelurile crom nu au conductibilitate termică bună și de aceea, pentru evitarea apariției fisurilor, încălzirea și răcirea lor se va face cu atenție.

Călirea în ulei a oțelului de scule cu 1,5⋯2,0% crom nu duce la formarea fisurilor, chiar la temperaturi de încălzire prea înalte.

Oțelurile crom se împart în oțeluri pentru cementare, oțeluri pentru construcții, oțeluri pentru scule, oțeluri pentru lagăre și oțeluri rezistente la coroziune.

Pentru cementare se întrebuințează oțelurile având dela 0,10 la 0,25% carbon și dela 0,70 până la 1,00% crom (15H și 20H).

Din aceste oțeluri se fabrică roți dințate, axe cu came, axele pistonului etc.

In funcție cu calitățile cerute pieselor, există mai multe procedee de tratare termică a oțelurilor crom după cementare.

Spre exemplu, pentru obținerea unei durități superioare se folosește următoarea variantă a tratamentului:

1) cementare la 900⋯920 °C; 2) călire direct din cutie în ulei; 3) călire la 780⋯800 °C în apă și 4) revenire la 180⋯200 °C.

Iar pentru obținerea unei bune proprietăți mecanice: 1) cementare la 900⋯920 °C; 2) călire direct din cutie în ulei; 3) călire la 870⋯900°C în ulei, 4) călire la 780⋯800 °C în apă și 5) revenire la 180⋯200 °C.

După un asemenea tratament se obține la suprafață o duritate de 500⋯600 unități Brinell și un miez moale.

Oțelurile crom pentru construcții conțin dela 0,25 până la 0,55% carbon și dela 0,5 până la 3,0% crom (mai des dela 0,7 până la 1,10% Cr).

In industrii îşi găseşte foarte des întrebuinţare oţelul cu 0,35···0,45% C şi 0,8···1,1% Cr (40 H), care se foloseşte pentru fabricarea roţilor dinţate, a arborilor cotiţi, a bielelor, axelor, cilindrilor şi a altor piese importante.

Călind un astfel de oţel în apă, se poate obţine după revenire o tenacitate considerabilă la o rezistenţă ridicată (fig. 100).

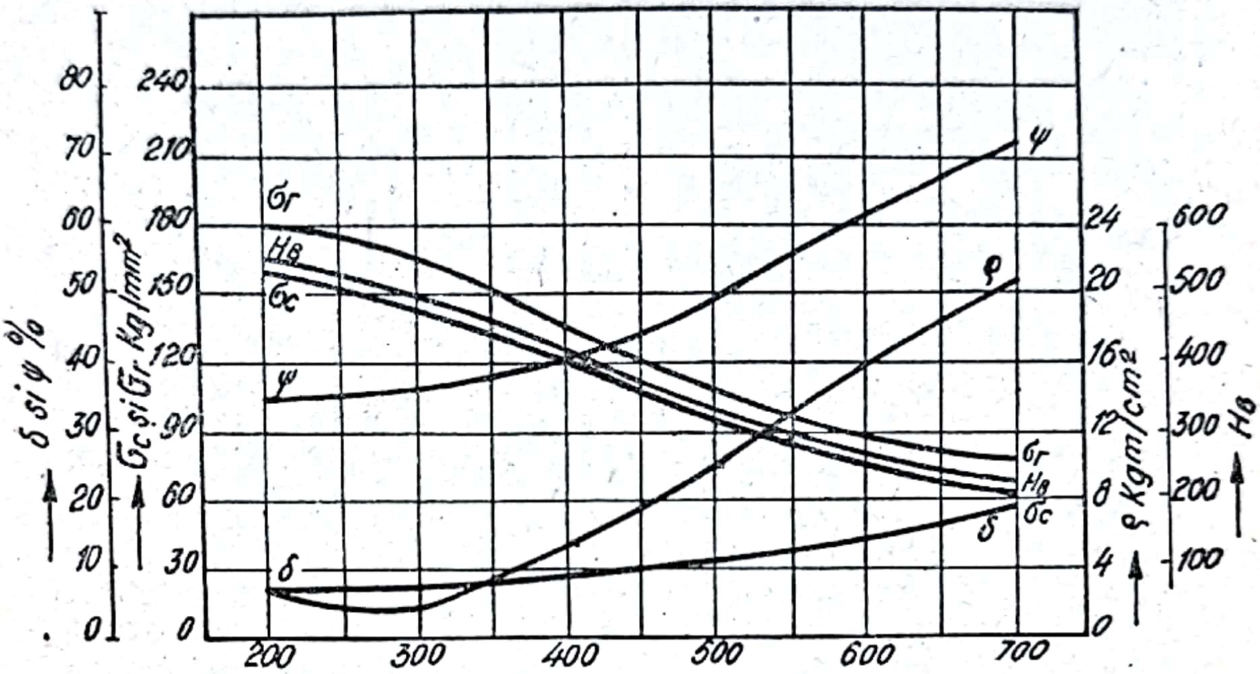


Fig. 100. Proprietăţile mecanice ale oţelului 40 H (0,38% C: 0,74% Mn; 0,26% Si; 0,82% Cr; 0,18% Ni; 0,019% S şi 0,021% P) în funcţie de temperaturile de revenire.

Proprietăţile mecanice ale oţelului 40 H (0,44% C; 0,65% Mn; 0,91% Cr) sub formă de semifabricate de diferiţi diametri, după călire şi revenire la 600 °C sunt arătate în fig. 101.

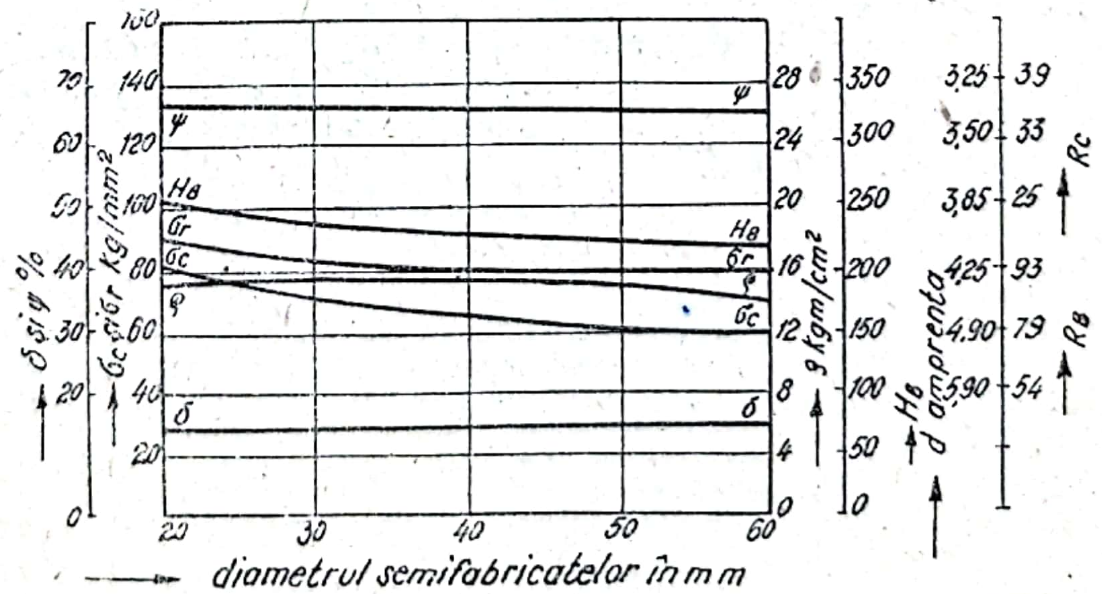


Fig. 101. Proprietăţile mecanice ale oţelului 40 H (0,44% C; 0,65% Mn; 0,91% Cr;) sub formă de semifabricate de diferiţi diametri (revenire 600 °C).

Proprietăţi mecanice foarte bune posedă oţelurile crom cu 0,30···0,40% carbon şi 2,7···3,0% crom.

De regulă, oţelurile crom pentru construcţii se întrebuinţează după călire şi o înaltă revenire (500···600 °C).

Aceste oţeluri au tendinţă spre fragilitatea de revenire şi de aceea după o înaltă revenire este necesar să li se facă o răcire rapidă în apă sau ulei.

Prezenţa cromului în oţelul pentru scule urcă durabilitatea sculelor.

O influenţă preţioasă a cromului asupra oţelului pentru scule constă deasemenea în aceea că piesele după tratamentul termic îşi schimbă puţin dimensiunile.

Oţelurile pentru scule conţin dela 0,6 până la 1,5% carbon şi dela 1,3···3,8% crom.

Ştanţele pentru forjat, matriţele de îndoire, se fabrică din oţel cu 0,60···0,65% carbon şi 3,2···3,8% crom.

Oţelul se recoace la 800···820 °C şi se căleşte în ulei la 875···925 °C.

Revenirea se face în funcţie de condiţiile de lucru, la 200···600 °C.

Stanţele pentru ştanţarea la cald, dornuri şi poansoane se fabrică din oţel cu conţinut de 0,9% C şi 3,2···4% crom.

Pentru fabricarea ciocanelor pneumatice, dălţilor, filierelor de trefilare, calibrelor, cuţitelor de strung, a frezelor, se întrebuinţează oţelul cu 1,2···2,3% C şi 11,5···14% crom, care posedă o rezistenţă apreciabilă la uzură.

Oţelul cu 2,0···2,3% C, 11,5···13,0% Cr se căleşte la temperatura de 900···1 050 °C în ulei sau în aer şi se revine la 220···400 °C. Se întrebuinţează pentru fabricarea matriţelor de broşat şi poansoanelor bacurilor de filieră etc.

Recoacerea unui astfel de oţel se face la 850···870 °C, iar răcirea, se face odată cu cuptorul.

Oţelurile cu 1,3···2,5% crom şi 0,80···1,10% carbon se deformează puţin şi se întrebuinţează pentru fabricarea cuţitelor de strung de formă complicată, burghiilor pentru filetat, bacurilor de filieră, instrumentelor de măsurat etc.

Călirea lor se face la temperatura de 800···860 °C în ulei.

Duritatea acestor oţeluri (62···64 Rc) se păstrează la o revenire până la 170 °C.

Oţelurile care conţin dela 1,0 până la 1,75% crom şi circa 1,1% carbon se întrebuinţează pentru fabricarea rulmenţilor cu bile şi role, a valţurilor de laminat la rece şi a ştanţelor pentru ştanţare la rece.

Bilele şi rolele se călesc la 780···800 °C în apă. La călirea în ulei, temperatura de încălzire se urcă cu 40 °C mai sus.

In primul caz revenirea se face la temperatura de 170···200 °C, iar în al doilea — temperatura de revenire se urcă până la 280···300 °C.

După un asemenea tratament se obţine o duritate de circa 550···600 unităţi Brinell.

Inainte de a fabrica bilele şi rolele, semifabricatele de oţel din care se vor face acestea trebue să aibă structura perlitică globulară.

Oţelurile: 1) 0,05···0,3% carbon şi 18···30% crom şi 2) 0,08···0,3% carbon şi 11···14% crom, se întrebuinţează în calitate de oţeluri inoxidabile pentru fabricarea instrumentelor chirurgicale, a cuţitelor, lingurilor, etc.

Ele sunt utilizate şi în industria chimică, deoarece sunt destul de rezistente la acţiunea acidului sulfuric, azotic şi clorhidric.

Un adaus de molibden în cantitate de 0,15···0,40% la un oţel cu crom exercită o influenţă pozitivă asupra proprietăţilor oţelului.

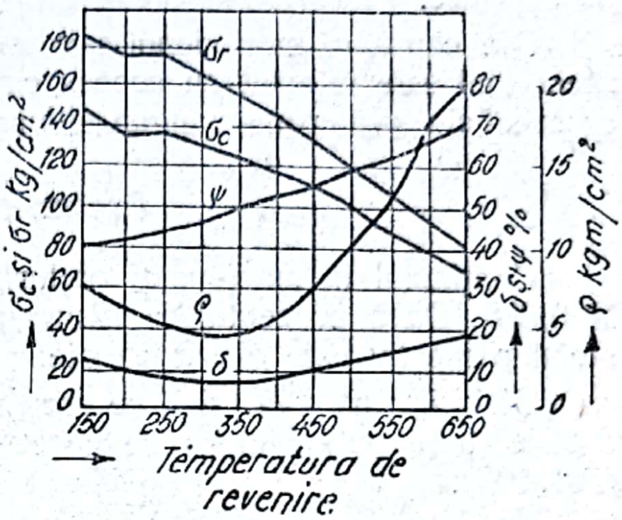


Fig. 102. Proprietăţile mecanice ale oţelului cu crom-molibden (0,35% C; 0,91% Cr; 0,16% Mo). Călirea epruvetei la 880°C în ulei.

Acest oţel se întrebuinţează pentru piese foarte importante (tab. 22).

Tabela 22

Compoziţia chimică şi modul de folosire al oţelului crom-molibden [1])

Compoziţia chimică în %			Modul de folosire (exemplu)	Tratamentul termic
C	Cr	Mo		
0,32—0,40	0,8—1,10	0,15—0,25	Piese pentru turbine, arbori, manşoane, discuri, tije, rotori, roţi dinţate şi alte piese.	Călire la 850—870°C în apă sau ulei, revenire la 600—640°C.
0,33—0,40	1,60—1,90	0,15—0,25	Pentru piese foarte importante cu limita de proporţionalitate mai mare de 70 kg/mm².	Normalizare la 860—880°C, călire la 860—880°C, revenire la 600—650°C.
1,45—1,70	11,0—12,5	0,50—0,80	Pentru ştanţe de ştanţare la rece, cu mare rezistenţă la uzura prin frecare, care necesită o mare duritate, pentru role de profilare de forme complicate, pentru matriţe de refulare în adâncime, pentru bacuri de filetat, etc.	Recoacere la 850—870°C, călire în ulei sau în aer, revenire la 350—550°C.

[1]) După datele catalogului cu calităţi de oţel al NKTM.

In fig. 102 sunt arătate proprietăţile mecanice ale oţelului crom-molibden (0,35% C; 0,91% Cr; 0,16% Mo) în funcţie de temperatura de revenire.

Din cauză că molibdenul este un material deficitar, în unele cazuri, acest oţel este înlocuit cu succes cu alte oţeluri (de exemplu, cu oţel crom-siliciu sau crom-mangan-siliciu).

45. Oţelurile mangan

Conţinutul în mangan al oţelurilor carbon obişnuite ajunge până la 0,8%. Dacă procentul de mangan este mai mare de 0,8%, atunci oţelul respectiv este clasat ca oţel aliat.

Oţelurile mangan îşi cuceresc un loc totî mai important în industrie (tabela 23), deoarece posedă proprietăţi mecanice superioare (fig. 103).

Tabela 23

Compoziţia chimică şi modul de folosire al oţelului mangan

Compoziţia chimică în %		Modul de folosire (exemplu)	Tratamentul termic
C	Mn		
0,25—0,35	1,40—1,80	Axele cărucioarelor de macara, semiaxe, fusuri.	Normalizare la 840—860°C.
0,30—0,40	1,40—1,80	Arbori cotiţi, semiaxe, fusuri şi alte piese pentru tractoare.	Normalizare la 840—860 °C sau călire la 800—820°C în apă şi revenire la 620—640 °C.
0,40—0,50	1,40—1,80	Semiaxe, arbori, şuruburi fără sfârşit şi alte piese pentru tractoare.	Normalizare la 830—850 °C sau călire la 830—850 °C în ulei, revenire la 550—600 °C.
0,45—0,55	0,70—1,00	Piese supuse la uzură prin frecare: discuri de fricţiune, roţi dinţate, arborii roţilor dinţate.	Normalizare la 820—840 °C sau călire la 820—840 °C în ulei, revenire la 550—600 °C.
0,45—0,55	1,40—1,80	Roţi dinţate, şurub fără sfârşit, arborii roţilor dinţate.	Normalizare la 810—830 °C, revenire la 400—500 °C.

Aceste oţeluri sunt întrebuinţate pentru diferite piese, de exemplu sunt folosite pe scară întinsă în calitate de material de construcţii.

In unele cazuri ele se întrebuinţează la fabricarea sculelor.

Oţelurile mangan sunt foarte sensibile la temperatura de încălzire, deoarece au tendinţă spre formarea unei structuri cu granulaţie mare.

La încălzirea pentru călire se foloseşte o durată de menţinere minimă.

Recoacerea oţelului mangan se face la 810···860 °C, iar călirea în funcţie de compoziţia chimică, la 800···850 °C.

La recoacere este necesar să se folosească o răcire foarte lentă. Este bine să se folosească o recoacere isotermică, ceeace accelerează procesul.

Oţelul cu 0,4% carbon şi 0,8···1,2% mangan se întrebuinţează pentru fabricarea ştanţelor şi matriţelor pentru ştanţare la cald, a nicovalelor.

Diferite cuţite, scule pentru fierărie, ciocane, topoare etc., se fabrică din oţel conţinând 0,4···0,6% carbon şi 0,8···1,0% mangan.

Oţelul de scule cu un conţinut de 1,0···1,5% mangan şi 0,8···1,0% carbon se deformează puţin la călire şi se întrebuinţează pentru fabricarea burghielor pentru filetat şi bacurilor pentru filiere, atunci când ele nu trebue să-şi modifice dimensiunile.

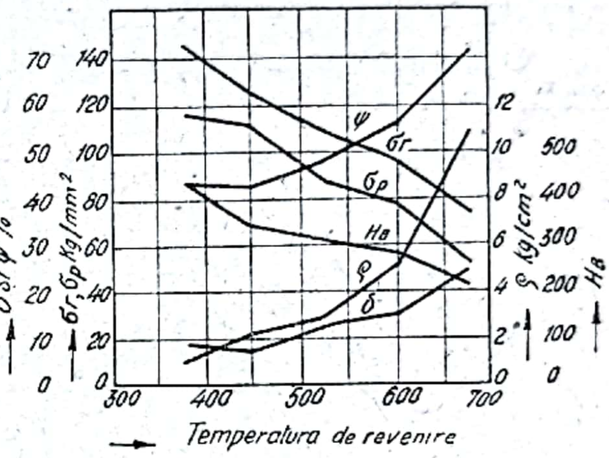


Fig. 103. Proprietăţile mecanice ale oţelului mangan, (0,45% C; 1,46% Mn; 0,20% Si; 0,16% Cr; 0,36% Ni; 0,016% S; 0,034% P). Călirea semifabricatelor cu diametrul de 25 mm la 810 °C în ulei.

Un adaus de crom în cantitate de 0,5% la un oţel de scule cu mangan ameliorează considerabil proprietăţile oţelului.

Oţelurile cu 0,1···0,45% carbon şi 1,6···1,8% mangan, se întrebuinţează pentru fabricarea buloanelor. roţilor dinţate, ale cutiilor de viteză, etc

Oţelul cu 0,3···0,4% carbon şi 1,0···1,4% mangan se produce în cantitate mare.

Din acest oţel se fabrică bandaje, arbori cotiţi, etc.

In practică este bine cunoscut oţelul cu conţinut ridicat în mangan, având 10···14% mangan şi 1,0···1,4% carbon.

Acest oţel lucrează bine la fricţiune.

Cu toate că un asemenea oţel nu are o duritate mare, totuşi nu se prelucrează bine nici chiar cu sculele fabricate din oţel rapid.

Aceasta se explică prin faptul că în procesul de tăiere austenita (fig. 104) acestui oţel trece în martensită, fapt care îngreunează tăierea.

Piesele fabricate din oţel cu conţinut ridicat în mangan se toarnă, se laminează sau se forjează astfel, ca ulterior să nu mai fie supuse unei prelucrări la strung.

Din acest oţel se fabrică fălci de concasoare, buloane pentru excavatoare, cupe pentru dragă, bile pentru mori, macazuri şi linii de încrucişare de cale ferată şi de tramvai, patine de şenile, etc.

Călirea acestor piese se face la temperatura de 1 050···2 100 °C în apă rece. Revenirea nu se aplică.

Oţelurile mangan posedă o conductibilitate termică nu prea mare şi deaceea încălzirea lor se va face cu atenţie.

Oţelul cu conţinut ridicat în mangan, specificat mai sus, are o conductibilitate termică de patru ori mai mică în comparaţie cu oţelul carbon.

Oţelurile mangan au tendinţă spre fragilitatea de revenire şi de aceea după revenire este necesar să se procedeze la o răcire rapidă.

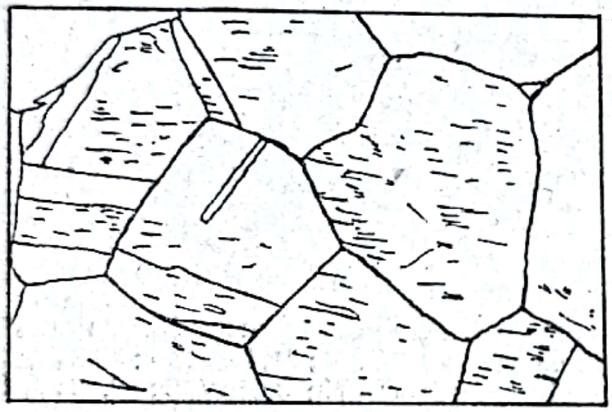


Fig. 104. Microstructura oţelului mangan (1,0···1,4% C; 10···14% Mn) după călire la 1 050 °C în apă. Structură austenitică a oţelului.

Fragilitatea de revenire a oţelurilor mangan se manifestă mai pronunţat când aceste oţeluri au conţinut ridicat în fosfor şi carbon.

Oţelurile mangan care se cementează, se recomandă să fie încălzite pentru cementare până la 860···880 °C şi să se întrebuinţeze medii de carburare nu prea puternice, altfel în stratul superior se va forma o aglomerare de carburi şi el va deveni fragil.

Rezultatele bune se obţin la călirea pieselor direct din cutia de cementare, cu recoacere ulterioară pentru obţinerea unui miez cu granulaţie mică. După călirea finală se aplică o revenire la temperatura de 160···250 °C.

46. Oţelurile wolfram

Oţelurile wolfram se forjează şi se toarnă bine. Adausul de wolfram în oţel înlătură pericolul creşterii granulelor şi apariţiei fisurilor.

Oţelul wolfram îşi schimbă puţin dimensiunile la călirea în ulei şi deaceea îşi găseşte întrebuinţare la fabricarea instrumentelor de precizie, calibrelor, etc.

De exemplu, oţelul conţinând 0,9···1,2% carbon şi 0,8···1,2% wolfram se foloseşte pentru fabricarea calibrelor şi burghiilor de filet cu pas precis; oţelurile cu 0,90···1,30% carbon şi 1,0···2,5% wolfram se întrebuinţează pentru fabricarea instrumentelor, care concomitent

cu o mare productivitate trebue să aibă şi o schimbare minimală a formei la călire (bacuri de filieră, alezoare, burghie de filet).

Oţelul matriţelor pentru trefilarea la rece a metalului conţine: dela 1,9 până la 2,2% carbon şi dela 1,25 până la 12% wolfram.

Din cauza preţului ridicat al wolframului, se caută să se limiteze folosirea acestui oţel şi în cazuri extreme să se reducă la minimum conţinutul în wolfram.

47. Oţelurile crom-nichel şi crom-nichel-molibden

Datorită proprietăţiilor lor mecanice superioare (fig. 105) oţelurile crom-nichel au o largă utilizare (tab. 24).

Aceste oţeluri sunt superioare celor cu nichel, deoarece se călesc mai bine şi posedă o bună tenacitate şi o rezistenţă ridicată.

Variind conţinutul în crom şi în nichel se poate obţine, în aceste oţeluri, o structură sau alta.

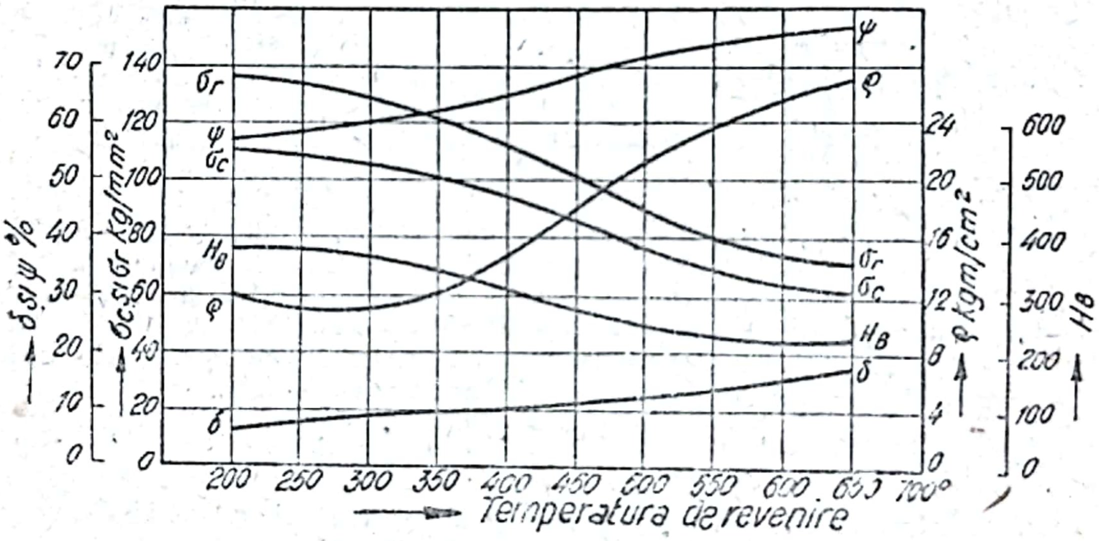


Fig. 105. Proprietăţile mecanice ale oţelului crom-nichel (0,17% C; 0,47% Mn; 0,22% Si; 0,73% Cr; 2,13% Ni; 0,014% S, şi 0,012% P). Călirea epruvetelor la 840 °C, în ulei.

Oţelul crom-nichel rezistă bine la încărcări neprevăzute (şocuri, lovituri) şi deaceea se întrebuinţează pe scară întinsă la construcţia autovehiculelor, tractoarelor şi maşinilor.

Cele mai răspândite sunt oţelurile conţinând 0,1 ... 0,45% carbon, 0,5 ... 1,7% crom şi 1 ... 4,5% nichel.

Oţelurile care au 0,1 ... 0,25% carbon, 0,6 ... 0,9% crom şi 1 ... 4% nichel, se întrebuinţează ca oţeluri pentru cementare.

Aceste oţeluri după cementare, de regulă, se călesc în ulei prima dată la temperatura de 840 °C, apoi la 775 °C. Revenirea se efectuează

Tabela 24

Compoziția chimică și modul de folosire al oțelurilor crom-nichel[1])

Compoziția chimică în %			Modul de folosire (exemplu)	Tratamentul termic
C	Cr	Ni		
0,11—1,17	0,60—0,90	1,50—2,00	Piese cementate: arbori mici, tije, roți dințate bolțuri și alte piese.	Cementare la 900—920 °C, călire la 860 °C în ulei sau în apă, a doua călire la 780 °C în ulei sau apă, revenire la 180—200 °C.
0,11—0,17	0,60—0,90	2,75—3,25	Roți dințate, arbori și alte piese importante cementate.	Cementare la 900-920 °C, călire la 860 °C în ulei, a doua călire la 780 °C în ulei, revenire la 180-200 °C.
0,11—0,17	1,25—1,75	3,25—3,75	Oțel cementat pentru piese cu rezistența miezului mărită.	Cementare la 9 0—920 °C, călire la 820 °C în ulei, a doua călire la 780 °C în ulei, revenire la 150—200 °C.
0,17—0,25	0,60—0,90	2,75—3,25	Oțel pentru piese importante cu tenacitate mărită, se poate supune la cementare.	Călire la 820—840 °C în ulei, revenire la 400—550 °C.
0,25—0,35	0,60—0,90	2,75—3,25	Piese foarte importante, tije arbori.	Călire la 820—840 °C în ulei, revenire la 5 0—550 °C sau 620—650 °C.
0,37—0,45	0,45—0,75	1,00—1,50	Arbori și alte piese cu proprietăți mecanice superioare. Ștanțe pentru ștanțare la cald.	Călire la 820—840 °C în ulei, revenire la 500—600 °C.
0,15—0,26	17,0—19,0	7,5—8,5	Table 10—40 mm pentru instalații rezistente la acizi, din industria chimică. După sudură, tratament termic obligator.	Călire la 1 150 °C în apă.
<0,12	17,0—19,0	7,5—8,5 +0,5 Ti	Table 10—40 mm pentru instalații rezistente la acizi, din industria chimică, fără tratament termic după sudură; convertizoare, încălzitoare, răcitoare etc.	Călire la 1 150 °C în apă.

[1]) După datele calităților de oțel din catalogul NCTM și după alte surse.

la 150 ... 170 °C. După un astfel de tratament, piesele vor avea un miez foarte moale şi o suprafaţă dură.

Deoarece cromul contribue la acumularea carbonului la suprafaţă, cementarea oţelului crom-nichel se face cu un mediu de carburare care acţionează slab.

Oţelul crom-nichel (C=0,16...0,20%; Mn=0,4...0,6%; Ni=1,6...1,8% şi Cr=1,8 ... 2,0%) are în miez, după călire, următoarele proprietăţi mecanice:

$\sigma_c = 85$ kg/mm², $\sigma_r = 115 ... 140$ kg/mm² şi $\delta = 10\%$.

Acest oţel are o largă întrebuinţare în industrie.

Schimbând temperatura de revenire, se pot obţine cele mai variate proprietăţi ale oţelului crom-nichel.

Oţelurile crom-nichel au tendinţă spre fragilitate la revenire şi deaceea după o revenire înaltă sunt răcite sau în apă sau în ulei.

Pentru piese foarte importante din oţel crom-nichel se pot recomanda următoarele variante de tratament termic:

Varianta I: călire în ulei sau normalizare la 870 °C; recoacere la o temperatură cu 20 ... 30 °C mai sus de punctul critic superior, cu răcire lentă; prelucrare mecanică; călire şi revenire.

Varianta II: călire în ulei la 870 °C; recoacere în ulei la o temperatură cu 20 ... 30 °C mai sus de punctul Ac_3; o revenire înaltă (cu circa 40 °C mai jos de punctul Ac_1); prelucrare mecanică; călire în în ulei sau apă; revenire.

Varianta III: încălzire până la 870 °C cu răcire ulterioară în aer până la temperatura Ar_1 (în funcţie de oţel până la 350 ... 450 °C) sau călire în ulei; călire în ulei; revenire; prelucrare mecanică.

Aceste feluri de tratament ameliorează considerabil proprietăţile mecanice ale oţelului.

Urcarea temperaturii de încălzire a oţelului crom-nichel contribue în mare măsură chiar la călirea pieselor de dimensiuni mari.

Oţelul inoxidabil crom-nichel (0,05 ... 0,25 % C, 6 ... 8 % Ni şi 18 ... 22% Cr) este bine cunoscut şi se întrebuinţează în cele mai variate medii unde coroziunea are mare importanţă.

Acest oţel se foloseşte pentru fabricarea instalaţiilor din industria chimică şi alimentară, a diferitelor piese de avioane, hidroavioane, a pieselor pentru pompe de apă, a diferitelor rezervoare, ţevi şi a pieselor mobile din turbine.

Acidul sulfuric şi clorhidric atacă acest oţel.

Călirea oţelului inoxidabil crom-nichel se face la 1 150 °C în apă sau în aer.

Oţelul în stare călită are o structură austenitică.

Tabela 25

Proprietăţile mecanice ale oţelului crom-nichel-molibden
(Probele s'au tăiat după axa semifabricatelor)

Compoziţia chimică	Diametrul semifabricatelor în mm	Temperatura de călire °C	Temperatura de revenire °C	Proprietăţile mecanice				
				Limita la curgere σ_c în kg/mm²	Rezistenţa de rupere σ_r în kg/mm²	Alungirea δ în %	Gâtuirea la rupere ψ în % (contracţie)	Rezilienţa ρ în kgm/cm²
C=0,30—0,38% Cr=0,80—1,10% Ni=1,25—1,75% Mo=0,25—0,40%	30	850	600	88	95	12,0	48	11
	60	850	600	88	95	12,0	48	11
	90	850	600	78	85	12,5	47	10
	120	850	600	64	74	12,5	46	9
	150	850	600	58	70	13,0	45	9
C=0,30—0,38% Cr=0,80—1,10% Ni=1,75—2,25% Mo=0,25—0,40%	30	850	580	91	98	12,0	48	11
	60	850	580	91	98	12,0	47	11
	90	850	580	85	93	12,0	47	10
	120	850	580	80	90	12,5	46	9
	150	850	580	71	84	13,0	45	8
C=0,30—0,38% Cr=0,80—1,10% Ni=2,25—3,00% Mo=0,25—0,40%	30	850	580	93	102	11,5	47	10
	60	850	580	92	102	11,5	47	10
	90	850	580	91	102	11,5	46	10
	130	850	580	88	100	12,0	46	9
	150	850	580	81	98	12,0	45	8
C=0,30—0,38% Cr=1,10—1,40% Ni=3,25—3,75% Mo=0,30—0,40%	30	850	600	95	110	13,0	46	9,5
	60	850	600	95	110	13,0	46	9,5
	90	850	600	94	108	13,0	46	9,5
	120	850	600	90	107	12,5	45	9,5
	150	850	600	88	105	12,0	44	9,0

La încălzire până la 600 °C ... 700 °C pe marginile granulelor de austenită se separă carburile, ceeace micşorează stabilitatea oţelului contra coroziunii.

Pentru a micşora coroziunea intercristalină, oţelului inoxidabil i se adaugă titan, niobiu şi alte elemente.

Aceasta se explică prin aceea că adausurile specificate micşorează separarea carburilor la marginea granulelor şi contribue la distribuirea lor mult mai uniformă.

Pentru ameliorarea prelucrării la strung, oţelurile inoxidabile se produc cu conţinut urcat de sulf şi fosfor. In cazuri speciale se adaugă seleniu (Se).

Un adaus de 0,5% titan la un oţel 0,1% C, 18% Cr şi 8% nichel, măreşte rezistenţa lui la acţiunea acizilor şi permite să se înlăture tratamentul termic după sudură.

Tabela 26

Compoziţia chimică a oţelului crom-nichel-molibden [1]) şi modul de întrebuinţare

Compoziţia chimică în %				Modul de folosire (exemplu)	Tratamentul termic
C	Cr	Ni	Mo		
0,36—0,44	0,60—0,90	1,25—1,75	0,15—0,25	Piese pentru turbine cu secţiune 150 mm; discuri, arbori, rotoare forjate dintr'o bucată, rotiţe de acţionare, care lucrează la temperatura de 450 °C. Material de susţinere: buloane, prizoane.	Călire în ulei la 850—870 °C, revenire la 600—650 °C.
0,29—0,37	0,60—0,90	2,75—3,25	0,15—0,25	Arborii turbinelor, discuri, rotoare care lucrează la temperatura de 450 °C.	Călire în ulei la 830—850 °C, revenire la 550—620 °C.
0,50 - 0,60	0,50—0,80	1,50—1,80	0,15—0,30	Pentru ştanţe de ciocan, pentru ciocane prin cădere şi acţionate cu aburi, care lucrează în condiţii grele.	Recoacere la 820—830 °C, călire în ulei 850 - 870 °C, revenire la 550 - 600 °C.
0,60—0,70	0,50—0,80	1,40—1,80	0,15—0,30	Pentru ştanţe mari, cadre, poansoane, ştanţe pentru refularea la cald, care lucrează în condiţii grele.	Recoacere la 820 - 830 °C, călire în ulei la 850 - 870 °C şi revenire la 550—600 °C.

[1]) După datele catalogului cu calităţile oţelului, HCTM.

La supapele de evacuare ale motoarelor de avion se întrebuinţează un oţel refractar crom-nichel cu adaus de wolfram şi molibden.

Oţelul cu adaus de siliciu (0,2% C, 25% Cr, 20% Ni şi 2,5% Si) posedă foarte bune proprietăţi refractare.

Un adaus de molibden la un oţel de construcţie crom-nichel, îi măreşte proprietăţile mecanice, adesea apără oţelul contra apariţiei fragilităţii la revenire, înlătură pericolul supraîncălzirii oţelului la tratamentul termic şi-i măreşte sensibilitatea la călire.

Din cauza sensibilităţii la călire, oţelurile crom-nichel-molibden sunt apreciate mult mai mult decât oţelurile de construcţii de alte calităţi.

Ele posedă proprietăţi mecanice superioare (tab. 25) şi deacea. se folosesc pentru cele mai importante şi cele mai mari piese (tab. 26e)

Oţelul cu 0,60···0,70% C, 0,5···0,8% Cr, 1,4···1,8% Ni şi 0,15···0,30% Mo, se întrebuinţează la fabricarea ştanţelor pentru ştanţarea la cald.

In cazuri foarte importante, acest oţel se tratează astfel: normalizare la 850···870 °C, recoacere la 730···760 °C, călire la 820···850 °C cu răcire în ulei până la 150···200 °C.

Pentru revenire, piesele se încarcă în cuptorul încălzit la temperatura de 500···550 °C.

Duritatea după revenire:

$$H_B = 290 - 330.$$

48. Oţelurile crom-mangan-siliciu
(cromansil)

Folosirea oţelului crom-mangan-siliciu a început relativ recent, însă cu toate acestea el şi-a găsit o largă întrebuinţare în diferite ramuri ale industriei (tab. 27).

Tabela 27

Compoziţia chimică a oţelului crom-mangan-siliciu şi modul de folosire

Compoziţia chimică în %				Modul de folosire (exemplu)	Tratamentul termic
C	Cr	Mn	Si		
0,17—0,24	0,80—1,10	0,80—1,10	0,90—1,20	Buloane, piese cu rezilienţă mărită, tablă.	Călire în ulei la 870···890 °C, revenire la 500···520 °C.
0,15—0,25	0,80—1,10	0,80—1,10	0,90—1,20	Tija pistonului şi alte tije.	Călire în ulei, revenire la 640···660 °C.
0,22—0,30	0,80—1,10	0,80—1,10	0,90—1,20	Arbore, roţi dinţate, osii.	Călire în ulei la 860···880 °C revenire la 540···560 °C sau 640···660 °C.
0,32—0,39	1,10—1,40	0,80—1,10	1,10—1,40	Oţel pentru piese foarte importante din material de tablă şi profile. Inlocueşte fabricate care conţin nichel şi molibden. Permite sudura în cazuri speciale.	Normalizare la 880 °C, călire în ulei la 860···880 °C şi revenire la 500 °C.

Aceasta se explică prin faptul că acest oţel posedă proprietăţi analoage proprietăţilor oţelurilor cu crom-molibden şi crom-nichel fără să aibă în compoziţia sa elemente deficitare.

In fig. 106 sunt arătate curbele proprietăţilor mecanice (la diferite temperaturi de revenire) ale oţelului crom-mangan-siliciu întrebuinţat în construcţia de maşini, unde a obţinut o răspândire excepţională.

Cu toate că sudarea acestui oţel este bine studiată, folosirea lui pentru construcţii sudate trebue făcută cu multă atenţie.

Pentru sudură se va folosi un electrod special şi este necesar să se ţină seama de tendinţa oţelului crom-mangan-siliciu de a se căli la răcirea în aer.

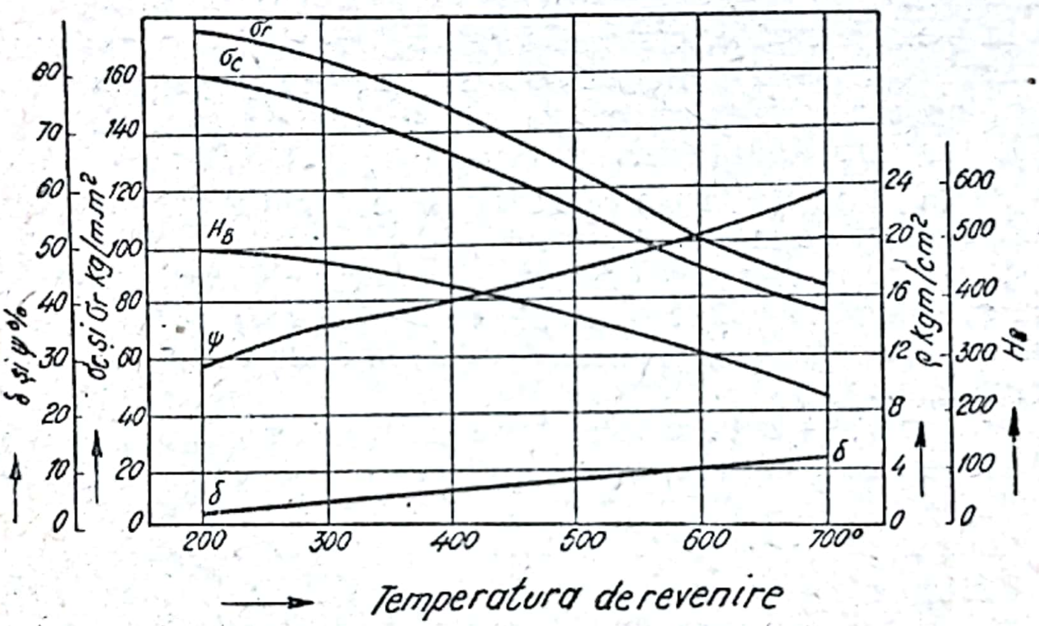


Fig. 106. Proprietăţile mecanice ale oţelului crom-mangan-siliciu (0,35% C; 0,81% Si; 1,35% Mn; 1,30% Cr). Călirea epruvetelor la 880 °C în ulei.

Oţelul conţinând 0,32···0,39% C, 1,10···1,40% Cr, 0,80···1,10 Mn şi 1,10···1,40% Si, după tratamentul termic al probelor cu diametru până 70 mm (normalizare, călire şi revenire la 500 °C) are: limita de curgere $\sigma_c \geqslant 75$ kg/mm², rezistenţa la rupere $\sigma_r \geqslant 100$ kg, alungire $\delta \geqslant 7\%$, gătuirea la rupere $\psi \geqslant 45\%$, rezilienţa $\rho \geqslant 6{,}0$ kgm/cm², duritatea Brinell $H_B \geqslant 285$.

Pentru comparaţie se pot arăta proprietăţile oţelului 30 HNZ (cu 2,75···3,25% Ni), care, sub formă de semifabricate cu diametru până la 60 mm, are, după călire şi o înaltă revenire: $\sigma_c \geqslant 70$ kg/mm², $\sigma_r \geqslant 90$ kg/mm², $\delta \geqslant 7\%$, $\psi \geqslant 45\%$, $\rho \geqslant 6{,}0$ kgm/cm² şi $H_B \geqslant 255$.

Oţelul cu crom-mangan-siliciu are tendinţă spre fragilitatea de revenire şi de aceea răcirea lui după revenire, este necesar să fie efectuată rapid.

CAPITOLUL IX

OŢELURI RAPIDE

49. Particularităţile oţelurilor rapide

Oţelurile rapide au o largă utilizare în industrie, la fabricarea sculelor. Aceste oţeluri îşi păstrează proprietatea lor de a pătrunde în alte metale (de a tăia alte metale) chiar la o încălzire până la roşu închis, în timp ce sculele sau cuţitele făcute din oţeluri carbon îşi pierd proprietatea de tăiere când se încălzesc numai până la 350 °C.

Elementele de bază ale oţelurilor rapide sunt wolframul, cromul şi vanadiul.

In oţelurile rapide, carbonul formează cu cromul, cu wolframul şi cu vanadiul compoziţii chimice compuse, care se numesc carburi. Cu cât carburile sunt mai fine cu atât proprietăţile de tăiere ale oţelurilor rapide sunt mai accentuate.

Pentru a ajunge la piesa fabricată, oţelul rapid trece prin următoarele operaţii termice:

1) prelucrarea la cald (forjarea sau laminarea lingoului până la piesă semifabricată); 2) recoacerea semifabricatelor; 3) forjarea piesei semifabricate până la obţinerea sculei; 4) recoacerea; 5) călirea; 6) revenirea.

Prin prelucrarea la cald se tinde la schimbarea formei lingoului, la distrugerea structurii eutectice a oţelului, la desfacerea carburilor în granule mici şi la distribuirea uniformă în secţiune. Aceasta se obţine printr'o încălzire a lingoului până la temperaturi ridicate.

Incălzirea acestor oţeluri înainte de forjare sau de laminare trebue făcută încet, cu mari precauţii, întrucât oţelul rapid fiind rău conducător de căldură este foarte sensibil la variaţiile brusce ale temperaturii.

Deobicei lingoul se introduce în cuptorul rece şi apoi se încălzeşte încet în acelaşi timp cu cuptorul până la 850···870 °C. După atingerea acestei temperaturi, încălzirea se face mai repede.

Prelucrarea la cald al oţelului rapid trebue oprită la 900 °C, întrucât sub această temperatură se produc în oţel fisuri care se descoperă câteodată după tratamentul termic. Din această cauză forjarea trebue să se execute în două sau mai multe încălziri. După forjare sau laminare oţelul trebue să se răcească încet prin acoperire cu un strat de cenuşă sau prin introducerea lui în gropi sau cuptoare speciale; după răcire urmează operaţia de recoacere care este necesară pentru a se obţine granule de perlită. Aceasta asigură oţelului o duritate mare şi uşurează prelucrarea ulterioară pe maşini-unelte. In acelaşi timp, recoacerea până la granule de perlită distruge toate tensiunile interne care iau naştere în timpul forjării sau laminării.

După o recoacere executată în condiţii bune, duritatea oţelului trebue să ajungă la 205···255 unităţi Brinell (diametrul amprentei de 4,20···3,80 mm).

Temperatura de recoacere pentru oţeluri rapide este între 850···930 °C şi în majoritatea cazurilor poate atinge 900 °C.

Pentru a proteja piesa semifabricată contra decarburării, recoacerea pieselor se face în cutii ermetice care conţin materiale de neutralizare ca: un amestec de pilitură de fier (90%) cu cărbune (10%), sau var stins uscat, cenuşă curată, mică. Impachetarea pieselor semifabricate se face astfel; se acoperă fundul cutiei cu un strat gros de circa 200 mm de material de neutralizare, în care se aşează piesele semifabricate formând unul sau mai multe straturi; trebue să se aibă grijă ca suprafaţa fiecărei piese să fie în întregime în contact cu masa de neutralizare. Cutiile astfel împachetate se încarcă într'un cuptor încălzit până la temperatura de 200···300 °C, care apoi se încălzeşte mai departe până la temperatura de recoacere şi se menţine la această temperatură între 2 şi 9 ore, în funcţie de mărimea semifabricatelor. După recoacere, răcirea cutiilor cu semifabricate se face foarte lent în cuptorul înfundat (uneori chiar zidit) cu toate registrele tirajelor închise. Sub temperatura de 675 °C răcirea poate fi continuată în aer liber.

Inainte de călire, oţelurile rapide se încălzesc între 1 200···1 340 °C şi cu cât temperatura este mai înaltă cu atât scula călită va avea o productivitate mai mare, putându-se încălzi în timpul lucrului până la 550···600 °C fără a-şi pierde calităţile de tăiere. Trebue să se ţină însă seama de faptul că în jurul temperaturii de 1 340 °C muchiile ascuţite încep să se deformeze ceeace nu se admite în cazul burghielor, alezoarelor şi frezelor. La răcirea cuţitelor, care ulterior vor fi supuse la ascuţiri brute pe pietre de polizor, deformarea muchiilor prin înmuiere nu prezintă mare defect şi deaceea la călirea lor se poate ajunge până la temperatura de 1 325···1 340 °C. Din contra, la călirea cuţitelor fasonate, a burghielor, a alezoarelor sau a frezelor, se alege o temperatură mai joasă (1 200···1 280 °C) mai ales pentru motivul că aceste scule nu suferă o încălzire prea mare în timpul tăierii.

Incălzirea oţelurilor rapide la temperaturi înalte se face pentru a transforma într'o soluţie solidă o cât mai mare cantitate de carburi simple şi compuse, care se formează în oţel în prezenţa cantităţilor suficiente de crom, wolfram şi vanadiu (combinaţiile între wolfram şi fier se numesc wolframide). In timpul încălzirii ferita aliată trece în austenită, iar mai târziu, pe măsură ce temperatura creşte, se produce disolvarea în soluţia solidă a carburilor şi wolframidelor.

In oţeluri rapide această disolvare reclamă o temperatură mai înaltă decât în cazul disolvării cementitei în oţelul carbon. Intrucât creşterea intensă a granulelor din masa oţelului şi în special a oţelurilor rapide începe la o temperatură superioară celei necesare disolvării

tuturor carburilor, supraîncălzirea oţelurilor rapide într'un timp scurt nu înrăutăţeşte proprietăţile lor.

Oţelul rapid în care s'a produs trecerea în soluţie solidă a unei cantităţi cât mai mari de carburi, capătă o stabilitate mare la tăieri rapide, chiar când cuţitul se încălzeşte până la 500···550 °C.

După cum s'a arătat mai sus, oţelurile rapide au o conductibilitate termică redusă, pentru care motiv în timpul călirii trebue utilizată o încălzire lentă până la temperatura de 700···850 °C. Pentru atingerea temperaturii finale şi mai ales după 1 100 °C, încălzirea trebue să fie cât mai rapidă.

Această încălzire accelerată este necesară mai ales pentru faptul că durata prea mare de încălzire poate produce decarburarea suprafeţelor sculei ceeace o va face inutilizabilă. Menţinerea pieselor la temperatura maximă nu poate dura decât 1···2 minute şi cu cât temperatura finală este mai ridicată cu atât este mai periculoasă menţinerea oţelului la această temperatură, deci cu atât mai scurtă trebue să fie durata de încălzire.

Răcirea oţelurilor rapide se face în ulei sau în curent de aer. Călirea în apă nu este permisă întrucât atrage formarea crăpăturilor (fisurilor).

Structura oţelului rapid. călit, depinde de temperatura de călire. La temperaturi înalte se obţine structura austenită-martensită şi o cantitate redusă de carburi fine, în timp ce după o călire la temperatură joasă se obţine structura martensitică şi incluziuni de cristale de carburi.

Nu se poate însă lucra cu o sculă a cărei structură este austenitică, întrucât austenita ca atare este moale, pentru care motiv se procedează la transformarea ei în martensită prin operaţia de revenire la o temperatură de 550···600 °C.

In acest caz din soluţia solidă se separă carburi foarte mici care măresc stabilitatea şi rezistenţa sculei.

Oţelul rapid, călit la temperatură joasă (1 100···1 150 °C), va avea o structură martensitică şi incluziuni mai mari de carburi. Un asemenea oţel are o productivitate redusă şi nu poate fi utilizat pentru confecţionarea sculelor. In acest caz scula trebue recoaptă şi apoi călită din nou în cele mai bune condiţii.

Martensita oţelului rapid are o plasticitate considerabilă în comparaţie cu martensita oţelului carbon. Trebue remarcat că nici duritatea şi nici încercarea cu pila nu caracterizează proprietăţile de tăiere ale sculei, care a fost supusă tratamentului termic.

Martensita oţelului rapid nu are prea mare duritate (circa 600 unităţi Brinell şi 63···64 unităţi Rockwell) dar are însuşirea de a menţine proprietatea de tăiere la o temperatură de 550···600 °C şi această proprietate este cu atât mai sporită cu cât temperatura de călire este mai mare.

Sculele la care nu trebue să aibă loc decarburarea suprafeţelor trebue să fie încălzite într'un mediu neutru compus, spre exemplu, dintr'un amestec de 50% nisip de cuarţ.

50. Oţelurile rapide de înlocuire

Având în vedere că wolframul, care intră în compoziţia oţelului rapid, este scump şi deficitar, în ultimul timp s'a trecut cu mare succes la înlocuirea oţelului rapid cu oţeluri care conţin în mică parte sau nu conţin deloc în compoziţia lor wolfram.

In tabela 28 se arată compoziţia chimică a oţelurilor rapide şi oţelurilor de înlocuire ale acestora.

In oţelurile de înlocuire crăpăturile se formează cu uşurinţă. Pentru a evita acest neajuns, încălzirea lor înainte de călire se face cu o viteză redusă în comparaţie cu oţelul de tipul R şi RF-1.

Pentru a evita formarea crăpăturilor în cazul unor calităţi de oţeluri (de exemplu EI-184) operaţia de călire trebue să fie precedată de o răcire prealabilă.

Rezultate bune se obţin atunci când călirea oţelurilor de înlocuire se execută în baie de azotat de potasiu la o temperatură de 450···500 °C.

Nu poate fi utilizată în acest scop baia de azotat de amoniu, întrucât acesta corodează sculele.

In tabela 29 sunt arătate condiţiile tratamentului termic al sculelor fabricate din oţeluri de înlocuire ale oţelurilor rapide.

De regulă, oţelurile de înlocuire sunt foarte sensibile la ridicarea temperaturii de călire. De exemplu, dacă oţelul EI-262 are la temperatură de 1 220 °C o granulaţie caracterizată prin gradul 8, la temperatura de 1 240···1 250 °C granulele cresc până la gradul 6.

Sensibilitatea mare la supraîncălzire a oţelului EI-184 se explică prin temperatura joasă la care se încălzeşte oţelul înainte de călire.

Temperatura prea joasă utilizată la călirea oţelurilor de înlocuire, duce la obţinerea durităţii mari. De exemplu: oţelul EI-260 va avea 63···65 H_{Rc} (duritatea Rockwell) iar oţelul I-743 va ajunge la duritatea de 62···63 H_{Rc}. Aceasta se explică, aşa cum s'a arătat mai sus, prin trecerea insuficientă a carburilor în soluţie solidă şi prin transformarea acesteia din urmă în martensită, în timpul călirii. Cu toată duritatea mare obţinută prin călire, o astfel de sculă trebue recoaptă şi apoi din nou călită în condiţii normale. Deobicei oţelurile de înlocuire, din cauza temperaturii ridicate, au după călire, o cantitate de austenită reziduală mai mare decât oţelurile rapide normale.

De regulă, pentru a compensa temperatura joasă de călire a oţelurilor de înlocuire, oţelul se menţine la temperatura maximă cu 25···50% mai mult decât oţelurile R şi RF-1. O durată prea mare de călire poate provoca însă supraîncălzirea materialului. De exemplu, dacă anumite

Tabela 28

Compoziția chimică a câtorva oțeluri rapide și a înlocuitorilor lor

Calitatea oțelului	Compoziția chimică în %									
	C	Cr	W	Mo	V	Mn	Si	Ni	S	P
RF-1	0,68–0,80	3,8–4,6	17,5–19,0	[illegible],3 (com. specială	1,0–1,4	⩽0,40	⩽0,40	⩽0,30	⩽0,030	⩽0,045
R	0,65–0,78	3,8–4,6	17,0–18,5	0,3 (com. specială	0,5–0,8	⩽0,40	⩽0,40	⩽0,20	⩽0,030	⩽0,030
EI-184	0,8 1,0	7,0–9,0	3,5–5,0	—	1,1–1,5	⩽0,40	0,5–0,8	⩽0,30	⩽0,030	⩽0,045
EI-260	0,9–1,05	4,0–5,0	—	3,3–4,0	2,0–2,5	⩽0,40	⩽0,40	—	—	—
EI-262 (ORF-2)	0,85–0,95	4,1–4,6	11,8–12,8	—	2,3–2,6	⩽0,40	⩽0,40	⩽0,30	⩽0,030	⩽0,075
EI-276	1,0–1,2	3,8–4,6	2,2–2,9	2,4–2,9	2,3–2,8	⩽0,40	⩽0,40	—	—	—
EI-277	1,2–1,4	3,8–4,6	—	2,4–2,9	2,8–3,3	⩽0,40	⩽0,40	—	—	—
EI-284	0,98–1,10	4,0–5,0	3,0–3,7	3,8–4,5	2,0–2,5	—	—	—	—	—
EI-290	0,83–1,0	3,6–4,3	2,7–3,3	2,7–3,3	1,5–2,0	⩽0,40	⩽0,40	—	—	—
EI-313	0,9–1,0	10–12	—	—	2,4–2,8	⩽0,40	0,[illegible]–1,1	⩽0,40	⩽0,030	⩽0,045
EI-743	0,82–0,92	6,0–7,0	3,5–4,5	—	2,8–3,2	⩽0,40	⩽0,40	—	—	—
I-823	0,85–0,95	7,0–9,0	2,0–2,5	—	2,4–2,8	⩽0,35	0,7–0,9	⩽0,30	⩽0,030	⩽0,045

Tratamentul termic al oțelului rapid și al oțelurilor de înlocuire

Calitățile de oțel	Prima preîncălzire		A doua preîncălzire		Temperatura de încălzire finală	Menținerea la temperatura pentru 1 mm grosime (diametru) în s.	Temperatura de răcire	Mediul de răcire	Temperatura mediului de răcire °C	Duritatea după călire	Numărul de reveniri	Durata fiecărei reveniri în ore	Temperatura de revenire °C	Duritatea după revenire
	Temperatura de preîncălzire °C	Menținerea la temperatură pentru 1 mm grosime în s.	Temperatura de preîncălzire °C	Menținerea la temperatură pentru 1 mm grosime în s.										
RF-1	600—550	—	840—870	40	1285—1315	6—8	—	Ulei sau salpetru topit	500—550	60—62	3	1	560	⩾ 62
R	600—550	—	840—870	40	1285—1315	6—8	—	Idem	500—550	60—62	3	1	560	⩾ 62
EI-172	500—560	80	880—900	40	1225—1245	12	—	„	450—500	55—59	2	1	540—550	⩾ 61
EI-184	840—860	40			1150—1170	9—10	—	„	450—500	54—59	3	1	550	⩾ 61
EI-260	500—650	80	840—860	40	1200—1220[1]	5—7	—	„	450—500	61—64	2—3	1	650—560	⩾ 62
EI-262	600—650	80	820—850	40	1230—1250	5—7	—	„	450—500	60—62	3	1	560	⩾ 62
EI-276	—	—	—	—	1115—1145 (1230—1250)	9	—	Ulei	—	—	2—3	1—1,5	550—560	⩾ 63
EI-277	—	—	—	—	1225—1255	9	—	„	—	—	2—3	1—1,5	550—560	⩾ 63
EI-290	550—560	80	850—880	40	1175—1210	7	—	Uleii fierbinte sau salpetru topit	300—400	58—62	3	1	560	⩾ 62
EI-313	—	—	—	—	1220—1250	9—10	—	Ulei sau salpetru topit	450—500	61—62	3	1	525—540	⩾ 62
I-748	800—850	—	—	—	1240—1270	3,5—4	900—1000	Ulei	500—550	59—63	2	1	540—560	⩾ 62
I-823	—	—	—	—	1210—1250	9—10	—	Ulei sau salpetru topit	500—550	55—59	3	1	560—570	⩾ 62

[1]) Temperatura maximă de încălzire a cuțitelor din oțel de calitatea dată este cu 20 °C mai ridicată decât cea indicată în tabelă

oţeluri de înlocuire sunt menţinute la temperatura maximă timp de 3 minute în loc de 2 minute, aceste oţeluri vor căpăta o structură cu creşterea intensă a granulelor şi calitatea lor va coborî.

Răcirea în timpul operaţiei de călire se face în ulei sau în baie de azotaţi la o temperatură de 450···500 °C.

Oţelurile de înlocuire ale oţelurilor rapide au o mare tendinţă spre decarburare. Pentru a le feri de decarburare în timpul călirii efectuate în cuptoare cu mufle, sculele se acoperă cu un strat de borax. Aplicarea stratului de borax se face după două metode: în unele uzine, după ce sunt încălzite până la 850···880 °C, sculele se presară cu praf de borax, care topindu-se formează stratul de protecţie. In alte uzine, sculele încălzite până la 40···50 °C se cufundă pentru câteva minute într'o soluţie saturată de borax, încălzită până la fierbere. In felul aceasta, după uscare scula rămâne acoperită cu un strat subţire de borax care la temperatura de 850···880 °C se topeşte şi în stare lichidă acoperă toată suprafaţa sculei.

Al doilea mod de protejare a sculelor cu borax este mai raţional, întrucât în cazul presărării sculelor cu praf de borax, o parte din acesta se scurge pe lături şi atacă vatra. In amândouă cazurile se recomandă să se pună sub sculă o foaie de tablă.

Este de dorit ca încălzirea sculelor confecţionate din oţeluri rapide aliate simple să se facă în clorură de bariu.

Adăugând apoi în baie, odată sau de două ori într'un schimb, o soluţie de 60···70% ferosiliciu sub formă de praf, sau 9% borax, putem evita decarburarea suprafeţelor. Deasemenea este bine să se adauge în baie 3···6% oxid de magneziu, de beriliu, de aluminiu sau de zirconiu.

Toate sculele confecţionate din oţeluri rapide sau din oţeluri de înlocuire ale oţelurilor rapide, care au muchii ascuţite, secţiuni mari, precum şi cele cu părţi subţiri şi masive, trebue răcite în ulei până la temperatura indicată de culoarea roşie, sau în săruri topite sau în plumb până la temperatura de 500···650 °C, cu o răcire ulterioară în aer.

După călire sculele se spală, se sablează, se ajustează şi apoi li se aplică operaţia de revenire. In cele mai multe cazuri revenirea se face în trei etape (câte o revenire pe oră).

Temperatura cea mai potrivită pentru revenire este de 550···560 °C, întrucât o temperatură mai înaltă poate duce la transformarea parţială a martensitei în troostită, ceeace diminuează cu mult durabilitatea sculelor.

Pentru a proteja sculele confecţionate contra coroziunii se procedează la atacarea sculei cu o soluţie de 20···25% acid clorhidric timp de 15···20 minute, după ce se face o neutralizare, introducând scula într'o soluţie de 10% hidrat de sodiu timp de 30···40 miuute.

Sculele pot fi ajustate în stare caldă imediat după răcirea lor în săruri topite (în jurul temperaturii de 600 °C) sau după răcirea lor în ulei până la 600 °C (culoare roşie). După ajustare răcirea acestor scule se face în aer.

Trebue remarcat că în ultimul timp profesorul T. A. Lebedev a studiat şi a introdus într'un mare număr de uzine fabricarea sculelor turnate din oţeluri rapide şi din oţelurile de înlocuire ale acestora. Procedeul arătat reduce considerabil costul sculelor.

51. Mărirea durabilităţii sculelor confecţionate din oţeluri rapide

Durabilitatea unei scule confecţionate din oţel rapid poate fi ridicată prin călire în trepte, prin revenire de mai multe ori (repetată), prin nitrurare şi prin tratament termic la temperaturi negative (sub 0°).

In cazul călirii în trepte scula se încălzeşte până la temperatura de călire apoi se transportă într'o baie de plumb cu temperatura de 550···650 °C şi după o echilibrare a temperaturii (pe toată secţiunea sculei), aceasta se răceşte în ulei sau într'un curent de aer. Deformarea sculelor în timpul călirii în trepte este neînsemnată şi numai o mică parte din scule trebue rectificată după această operaţie. De exemplu, la uzina de automobile Stalin, se rectifică 75% dintr'un lot de burghie şi alezoare călit în ulei, în timp ce după o călire în trepte nu se rectifică decât 6···7% dintr'un lot de piese.

După operaţia de călire în trepte urmează operaţia de revenire în trei etape la o temperatură de 530···560 °C.

In afară de micşorarea crăpăturilor şi ridicarea rezistenţei, călirea în trepte micşorează îndoirea şi permite îndreptarea la temperatura ridicată, când oţelul se găseşte în stare plastică. In timpul răcirii până la temperatura de 500···650 °C, sculele păstrează soluţia solidă un timp destul de lung şi din această cauză ele pot fi uşor îndreptate. De exemplu, alezoarele şi burghiele cu diametrul de 20 mm şi lungimea de 250 mm se pot trata în modul următor: prima încălzire în cuptor cu flacără până la temperatura de 600 °C. timp de 30 minute, a doua încălzire până la temperatura de 850···880 °C, timp de 12 minute şi încălzirea finală până la temperatura de 1 280···1 330 °C, timp de 1,5 minute. După menţinerea la temperatura maximă, piesele se introduc pentru 20 minute într'un cuptor cald la temperatura de 500···600 °C, apoi se trimit la verificare (cu ajutorul indicatorului) şi la corijare (la presă). Trebue să se ţină seama că pentru răcire este mai bine să se utilizeze baia de plumb. După răcirea finală se face revenirea la temperatura de 530···560 °C, timp de 2···3 ore. In urma acestei reveniri, cea mai mare parte de austenită trece în martensită. Totuşi austenita oţelului rapid este foarte stabilă şi din această cauză o singură revenire nu este suficientă. Ridicarea temperaturii de revenire, cu toate că duce la o descompunere mai mare a austenitei, este totuşi însoţită de transformarea parţială a martensitei în troostită. Prezenţa troostitei scade proprietăţile de tăiere ale sculelor.

Pentru transformarea completă a austenitei în martensită, în uzine se aplică revenirea repetată. Trecerea austenitei în martensită este însoţită de ridicarea durităţii şi are loc foarte intens în timpul răcirei.

Inafară de transformarea austenitei în martensită, în timpul revenirilor repetate are loc separarea carburilor în granule foarte mărunte şi împrăştiate. Această separare este insoţită şi de ridicarea durităţii oţelului cum şi a proprietăţilor lui de tăiere.

Trebue remarcat că temperatura şi durata de revenire depind de compoziţia chimică a oţelului şi de condiţiile de călire.

Productivitatea sculelor de oţel rapid, aşa cum s'a arătat în lucrările lui S. S. Steinberg, N. A. Minchievici, A. P. Guleaev şi alţii, se poate urca prin răcirea sculelor cu mult sub zero grade (dela —80 °C până la —100 °C). Tratamentul oţelului la temperaturi negative a fost expus mai înainte.

52. Nitrurarea sculelor

In ultimul timp se utilizează nitrurarea în (săruri) cianuri topite, în mediu gazos conţinând azot şi carbon precum şi în prafuri solide pentru sporirea rezistenţei sculelor din oţel rapid sau din oţel de înlocuire.

Unii autori denumesc acest proces cianurare. Fenomenele ce au loc în timpul acestui tratament nu sunt studiate încă suficient. Astfel nu se poate afirma cu siguranţă că la temperaturi joase, odată cu azotul pătrunde în oţel şi carbonul (mai just carbonul serveşte numai drept catalizator, adică drept accelerator al procesului). Acest proces este numit nitrurare.

Nitrurarea se aplică sculelor gata, în urma cărui fapt duritatea acestora se ridică până la 67 ... 70 unităţi Rockwell.

Deoarece ascuţirea sculelor este însoţită de apariţia în unele locuri a culorilor de revenire care micşorează viteza de niturare, pelicula de oxizi care se formează înainte de tratament se îndepărtează pe cale chimică. In acest scop, sculele înainte de niturare se degresează şi se introduc într'o soluţie care se prepară în modul următor: într'un litru de apă se dizolvă 50 g sulfat de cupru, apoi se adaugă 100 g acid sulfuric şi în sfârşit 50 g acid azotic. Temperatura soluţiei nu trebue să depăşească 20 °C. Durata de ţinerea sculelor în soluţie depinde de compoziţia chimică a oţelului (variază dela 3 până la 25 minute) şi de fiecare dată se stabileşte după aspectul precipitatului de cupru.

La sfârşitul atacării, precipitatul de cupru prezintă crăpături şi se desprinde sub formă de pelicule. După atacare, sculele se spală în apă rece, apoi pentru îndepărtarea hidrogenului ele se încălzesc în apă la temperatura de fierbere timp de 3 ... 5 minute. Pelicula de cupru prinsă la suprafaţă se îndepărtează în urma spălării sculelor în apă.

Temperatura de nitrurare trebue să fie sub temperatura de revenire a oţelului rapid şi anume: pentru oţelurile R, RF-1, EI-262, EI-260,

EI-277, în limitele 540 ... 550 °C pentru oţelurile EI-184, EI-290, în limitele 530 ... 545 °C. Piesele de configuraţie complicată şi sculele de mare precizie se tratează la temperatura de 520 ... 530 °C.

Ridicarea temperaturii de nitrurare poate duce la formarea troostitei, la îndoirea sculelor aduse până la dimensiunile date şi la apariţia unui strat gros fragil. Desigur, trebue să se observe foarte atent valorile date de termocupluri în timpul revenirii şi nitrurării şi să se urmărească ca termocuplurile să dea aceleaşi valori la verificarea lor.

Sculele se pot nitrura numai în cazul când au fost tratate termic corect şi au duritatea necesară. Dacă sculele au duritatea scăzută sau au fost călite la temperatură joasă, nitrurarea nu va da rezultate pozitive. La nitrurarea sculelor tratate corect, azotul care se găseşte în formă activă la descompunerea cianurilor, pătrunde în oţel şi ridică duritatea până la 1000 unităţi Brinell.

Sculele care se ascut pe o singură muchie tăioasă se nitrurează o singură dată, independent de numărul de reascuţiri. Sculele a căror ascuţire se face pe două muchii, se nitrurează după fiecare ascuţire. Nitrurarea repetată a sculelor ascuţite se poate face numai în cazul când de pe muchiile tăioase s'a îndepărtat tot stratul nitrurat. Altfel, pe porţiunile rămase nitrurate se formează un strat gros care va duce la fragilitate.

Schimbarea volumului în timpul nitrurării este aşa de neînsemnată încât nu influenţează asupra preciziei sculelor.

Nitrurarea în săruri topite. La nitrurarea în săruri topite, sculele gata pentru lucru (după ascuţire şi polisare) se încălzesc timp de 5 ... 40 minute la temperatura de 530 ... 560 °C într'o baie de săruri cu una din următoarele compoziţii:

1) 50—60% cianură de sodiu ($NaCN$) + 26—32% carbonat de sodiu (Na_2CO_3) + 14—18% clorură de sodiu ($NaCl$) (temperatura de topire fiind 510 ... 515 °C).

2) 30% cianură de sodiu ($NaCN$) + 45% carbonat de sodiu (Na_2CO_3) + 25% clorură de sodiu ($NaCl$) (temperatura de topire fiind 530 ... 535 °C).

3) 96—98% cianură de sodiu ($NaCN$) + 2—3% carbonat de sodiu (Na_2CO_3) + adausuri insolubile (temperatura de topire fiind 530 ... 535 °C).

4) 93% ferocianură de potasiu $K_4Fe(CN)_6$ + hidroxid de potasiu (KOH) + 0,35% carbonat de sodiu (Na_2CO_3) + 0,85% clorură de sodiu ($NaCl$) + săruri de calciu (temperatura de topire fiind 490 ... 500 °C).

5) 50% cianură de sodiu ($NaCN$) + 50% cianură de potasiu (KCN).

Durata de nitrurare are mare influenţă asupra calităţii sculelor nitrurate. Cu cât durata de nitrurare este mai lungă, cu atât şi adâncimea stratului nitrurat se măreşte. Un strat gros devine fragil şi se

desprinde uşor. Adâncimea de nitrurare se determină lesne prin atacarea secţiunii cu o soluţie de 2...4% acid azotic.

Durata de menţinere în baie depinde de compoziţia oţelului, de temperatura şi de concentraţia sărurilor. Se recomandă ca nitrurarea sculelor fabricate din oţelurile RFI, R, EI-290, EI-262 şi EI-260 în baie conţinând peste 50% cianură de sodiu (NaCN), să se facă la temperatura de 545...550 °C timp de 6 minute, pentru zencuitoare, alezoare şi burghie, cu diametrul până la 4 mm şi timp de 12 minute pentru freze cu diametrul până la 30 mm. In cazul sculelor cu diametru mai mare, durata de nitrurare se măreşte cu 2 min pentru fiecare 5 mm diametru. Pentru zencuitoare, burghie şi alezoare de dimensiuni mari (cu dimetrul peste 30 mm), durata de nitrurare se poate stabili considerând maximum 0,6 min pentru 1 mm diametru şi 0,4 min pentru freze cu diametrul peste 60 mm.

La stabilirea duratei celei mai potrivite a operaţiei trebue să se ţină seama de faptul că grosimea stratului nitrurat nu trebue să depăşească 0,004 microni. Broşele nu sunt supuse la loviri deaceea se admite şi pentru ele un strat nitrurat mai gros. Sculele cu filet (tarozii, bacurile de filieră), trebue să aibă un strat cu grosimea mai mică decât zencuitoarele, alezoarele şi burghiele. Deaceea, pentru aceste unelte durata operaţiei se stabileşte cu două minute mai mică (în cazul unor dimensiuni identice). Frezele disc executate din aceleaşi oţeluri, având grosimea dela 2 până la 15 mm, se ţin în baie dela 6 până la 15 min. Cuţitele de strunjit şi de rabotat se ţin în baie dela 12 până la 40 min.

Pentru oţelurile EI-184, EI-172, EI-277 şi EI-276, durata operaţiei de nitrurare (535...575 °C) se ridică pentru sculele de toate dimensiunile, cu două minute.

Unele uzine întrebuinţând baia cu 96...98% cianură de sodiu (NaCN) la temperatura de 565...575 °C, ţin piesele în baie în modul următor: frezele de filetat cu filet neşlefuit dela 12 până la 20 min, iar pe cele cu filet şlefuit, dela 10 până la 15 min; frezele melc cu dinţi neşlefuiţi dela 15 până la 30 min şi cu dinţii şlefuiţi, dela 12 până la 16 min; frezele obişnuite frontale şi de fasonat, dela 8 până la 30 min; frezele disc, dela 6 până la 15 min; burghiele, dela 10 până la 20 min; alezoarele dela 8 până la 20 min; tarozii dela 8 până la 20 min; bacurile de filiere dela 5 până la 7 min; cuţitele fasonate dela 12 până la 25 min; cuţitele pentru strung, dela 10 până la 15 minute.

In urma acestui tratament se obţine un strat nitrurat cu grosimea dela 0,01 până la 0,04 mm. Cu cât dimensiunile sculelor sunt mai mari, cu atât durata de nitrurare este mai mare.

Unele uzine recomandă următoarele durate de nitrurare pentru broşe:

La diametrul până la 25 mm . . . . 30 min
La diametrul dela 25 până la 50 mm . . . . 40—50 min
La diametrul dela 50 până la 75 mm . . . . 60—70 min.

Inainte de introducerea în baie, sculele se încălzesc până la temperatura de 400...450 °C. Incălzirea are ca scop să prevină apariţia crăpăturilor şi crustei care se formează în jurul sculelor reci în timpul introducerii în baia topită. Prezenţa acestei cruste împiedică încălzirea rapidă a sculelor.

Cianurile prinse pe suprafaţă se îndepărtează în timpul spălării sculelor în apă fierbinte. După spălare, sculele se şterg cu o cârpă uscată. Câteodată se face o neutralizare suplimentară timp de 1 h în soluţie de 10% hidroxid de potasiu (sau hidroxid de sodiu) sau sodă calcinată, urmată de ştergere cu cârpe uscate.

In timpul funcţionării băii cu cianură are loc evaporarea componenţilor volatili şi întărirea sărurilor. Pentru a evita întărirea şi a menţine concentraţia necesară băii, aceasta se complectează cu cianură calitativ superioară (80...92% NaCN).

Nitrurarea este foarte simplă şi din această cauză poate fi aplicată în orice uzină.

Băile cu cianură dau un randament mare.

Acest procedeu are perspective mari de desvoltare, deoarece permite mărirea rezistenţei nu numai a sculelor tăietoare, dar şi a celor de măsurare.

Faţă de metoda de nitrurare cu ajutorul amoniacului, răspândită destul de mult, acest procedeu se deosebeşte prin durata mai scurtă a procesului.

Cianurile sunt vătămătoare sănătăţii şi din această cauză trebue respectate măsurile de siguranţă în timpul lucrului.

Cianura de sodiu degajază vapori albi. Cu toate că aceşti vapori nu prezintă un pericol mare, ei atacă şi inflamează membrana mucoasă a nasului şi gâtului. Pentru protecţia contra vaporilor degajaţi de cianură, sunt necesare ventilatoare puternice.

Nitrurarea în mediu gazos. Nitrurarea în mediu gazos prezintă o serie de avantajii în comparaţie cu nitrurarea în săruri topite şi anume: se ieftineşte procesul de nitrurare, se înlătură întrebuinţarea cianurilor (săruri greu de procurat şi scumpe), se micşorează pericolul de intoxicare (procesul nu este atât de dăunător sănătăţii) şi scade fragilitatea stratului nitrurat.

Un mare neajuns al nitrurării cu gaze este necesitatea de a avea o instalaţie complicată pentru obţinerea gazului necesar. Gazul se obţine de regulă prin piroliza (descompunere) petrolului sau în instalaţie de generatori. Totuşi nu este exclusă posibilitatea utilizării în acest scop de exemplu a gazului de iluminat.

Nitrurarea în mediu gazos constă în următoarele: scule de oţel rapid sau de oţeluri de înlocuire cu duritatea de cel puţin 62 Rc, se degresează, se spală şi se usucă. După îndepărtarea sărurilor sau altor particule prinse pe suprafaţă, sculele se supun tratamentului chimic pentru eliminarea culorilor de revenire formate [în timpul ascuţirii şi

11*

se introduc în cutii, astfel ca distanţa între suprafeţele nitrurate să fie de 5...10m ilimetri. După aceasta, cutiile se introduc în cuptorul închis ermetic şi se face încălzirea acestuia timp de 30...45 minute. In acest timp, în cuptor se trimite gazul de piroliză sau de generator, ceeace fereşte suprafaţa sculelor de oxidare.

După încălzirea sculelor, gazul de piroliză se amestecă cu amoniac în raport $^1/_2$ sau $^2/_5$ (în cazul gazului de generator acest raport va fi diferit) şi se începe procesul nitrurării.

Amestecarea gazului de piroliză cu amoniac se face sau iniţial într'un vas de amestecare, sau direct în cuptorul unde se încălzesc sculele. Curentul de gaz trebue să fie astfel ca presiunea în cuptor să nu depăşească 75...100 milimetri coloană de apă.

In cazul unei încărcături mari de piese precum şi în cazul sculelor de dimensiuni mari, cantitatea de gaz care se trimite în cuptor trebue mărită. Totuşi este necesar ca raportul dintre amoniac şi gazul de piroliză să se păstreze la cifrele arătate mai sus.

Temperatura de nitrurare trebue să fie cu 5...10 °C sub temperatura de revenire a sculelor. Durata de menţinere a sculelor în cuptor, la nitrurarea fără preîncălzire, depinde de dimensiunile lor şi poate fi stabilită în fiecare caz în parte, ţinând seama de datele din tabela 30. Adâncimea stratului nu trebue să depăşească 0,03...0,04 mm.

Răcirea sculelor după nitrurare se face sau la aer, sau în nisip. Sculele capătă astfel o duritate până la 70 R_C şi devin mai dure decât la nitrurarea în săruri topite sau în curent de amoniac.

Se recomandă ca sculele nitrurate să fie supuse revenirii la temperatura de 300 °C.

Gazele folosite sunt vătămătoare sănătăţii şi din această cauză ele trebue aprinse la ieşirea din coş. După mărimea flacării, se poate judeca stabilitatea procesului. Gazele ce ies din cuptor în timpul deschiderii capacului sunt captate într'o nişă prevăzută cu o bună instalaţie de ventilare. Inainte de a deschide capacul se întrerupe accesul amoniacului, iar după eliminarea amoniacului din cuptor, se închide gazul de piroliză sau de generator.

Odată pe schimb se ia o probă de gaze (din cele ce intră în cuptor şi din cele folosite) pentru analiză. Compoziţia gazului trebue să fie astfel ca să se evite depunerile de negru de fum pe sculele ce urmează să fie tratate.

Nitrurarea sculelor cu substanţe solide. O serie de neajunsuri frânează răspândirea în industrie a procesului nitrurării în săruri topite şi în mediu gazos.

Nitrurarea în substanţe solide (în prafuri) se caracterizează prin simplitate şi este mai puţin periculoasă în comparaţie cu nitrurarea în săruri lichide.

In timpul executării procesului, praful de nitrurare nu trebue să se aglomereze şi nu trebue să degaje gaze toxice. El constă dintr'un

Tabela 30

Durata de nitrurare a diferitelor scule la temperatura de 550—570 °C

Denumirea sculelor	Dimensiunile în mm	Durata de nitrurare în min.
Frezele disc cu grosimea	până la 3	45—60
„ „ „ „	3—5	60—75
Freze disc cu grosimea	5—10	75— 90
Idem	10—15	90—105
„	>15	105—120
Freze frontale, cilindrice, fasonate, şi alte freze cu diametrul până la	20	75— 90
Idem	20—30	90—105
„	30—50	105—120
„	>50	120—135
Freze de filetat cu diametrul de	până la 30	75— 90
Idem	30—50	90—105
„	>50	105—120
Piepteni pentru tăierea dinţilor, bacuri de filieră	—	30—105
Zencuitoare şi alezoare cu diametrul până la	10	60— 75
Idem	10—15	75— 90
„	15—20	90—105
„	20—30	105—120
„	>30	120—135
Cuţite fasonate (radiale şi tangenţiale)	—	90—120
Burghie, broşe cu diametrul până la	15—20	60— 75
Idem	20—25	75— 90
„	25—30	90—105
„	>30	105—120
Cuţite de strunjit şi rabotat	—	90—120
Cuţite pentru strung	—	75— 90
Tarozi cu diametrul	până la 10	45— 60
Idem	10—15	60— 75
„	15—20	75— 90
„	20—30	90—105
„	>30	105—120

D. V. Litvac. Cianurarea oţelului în mediu gazos, Gosplan SSSR, Tehnico-economicescaia informaţia, 1943, Nr. 14.

amestec alcătuit din 60 % cărbune de lemn, 30 % fero- sau fericianură de potasiu şi 10 % sodă calcinată. Soda trebue să fie curaăt şi să nu conţină sulf. Cărbunele de lemn şi sarea se macină şi se usucă la temperatura de 200 °C timp de 1···2 ore înainte de întrebuinţare.

Părţile tăioase ale sculelor destinate nitrurării, se curăţă de petele de ulei şi de rugină şi se introduc în cutii astfel ca distanţa între suprafeţele ce urmează să fie nitrurate, precum şi distanţa între piese şi pereţii cutiei să fie de minimum 5···8 mm. Cutiile se închid cu un capac, se leagă cu sârmă şi se introduc în cuptor.

Nitrurarea se face la o temperatura cu 10···15 °C sub temperatura de revenire a sculelor ce se tratează. Sarea şi soda topite la această temperatură, se îmbibă cu cărbune şi din această cauză tot amestecul se găseşte în stare de praf, puţin umezit.

Praful utilizat o singură dată se adaugă în cantitate de 20···30% la un amestec nou şi înafară de aceasta praful serveşte pentru complectarea cutiilor în locurile unde el nu vine în contact cu suprafaţa sculelor ce urmează să fie nitrurate.

Menţinerea sculelor la temperatura de 550···570 °C timp de o oră, permite să se obţină un strat nitrurat cu adâncimea de 0,05 mm.

In tabela 31, se dă durata de menţinere a diferitelor scule la nitrurare în praf conform datelor lui V. V. Cernâşev.

Tabela 31

Durata de nitrurare în praf a diferitelor scule

Denumirea sculelor	Dimensiuni principale mm		Durata de nitrurare h
	Diametrul	Pasul filetului	
Freze de filetat	35—40	2	1,5—2,0
„ „ „	35—40	2,5—3,5	2,5—3,0
Freze melc	M—4,25	—	3,0
Tarozi	până la 10	până la 2	1,5—2,0
„	10—25	mai mare de 2	2,0—3,0
Burghie	până la 5	—	0,5—1,0
„	5—10	—	1,0—2,0
„	10—25	—	2,0—3,0
Burghie de prelucrare brută	70	—	1,5—2,0
Burghie de finisare	60—70	—	2,5—3,0
Cuţite fellows	90	—	1,5—2,0
„ de degroşare	—	—	1,0—1,5
„ de canelat	—	—	1,5—2,5
„ disc de filetat	—	—	2,0—3,0
„ Gorbeck	—	—	2,5—3,0

La nitrurarea în cutii de dimensiuni medii, la durata de nitrurare se adaugă încă 0,5 ore pentru încălzire.

Scoaterea sculelor se face după răcirea cutiilor până la temperatura de 100···200 °C într'o încăpere ventilată.

Praful se îndepărtează uşor de pe sculele calde cu ajutorul unei perii.

Sculele răcite la aer se spală în apă fierbinte şi în stare uscată se freacă cu o cârpă îmbibată în ulei.

CAPITOLUL X

PRELUCRAREA METALELOR LA RECE PRIN PRESARE

Foarte des, metalele se supun prelucrării prin presare care constă în: laminare, forjare, ştanţare, trefilare şi presare la prese. Aceste operaţii au scopul să schimbe atât forma şi dimensiunile metalului cât şi structura lui internă.

Asupra proprietăţii metalelor de a se deforma, are o mare influenţă temperatura la care se face prelucrarea. In funcţie de temperatură, se disting două feluri de prelucrări prin presare: la cald şi la rece.

Prelucrarea la rece se aplică în cazurile când este necesar să se obţină un material cu dimensiuni precise şi cu suprafaţa curată fără prelucrare la maşini unelte, precum şi cu anumite proprietăţi mecanice.

Până în prezent nu s'a reuşit să se obţină dimensiuni precise cu ajutorul laminării la cald. De exemplu în timpul laminării la cald a tablelor bimetalice cu grosimea de 6 mm, neuniformitatea în ceeace priveşte grosimea tablei ajunge până la 6 %. In timpul prelucrării la cald, tablele groase, cu dimensiuni relativ precise, pot fi obţinute cu lăţimea până la 600 mm, în timp ce pentru table subţiri, această lăţime este prea mare şi duce la o diferenţiere mare în grosime, la margini şi în mijloc. Neuniformitatea în lăţime este provocată de îndoirea şi uzura valţurilor.

Neuniformitatea tablelor în grosime poate duce în timpul prelucrării la rece, la formarea cutelor, la apariţia crăpăturilor şi la încreţire.

In timpul prelucrării la cald, are loc un proces dublu de schimbare a granulelor.

Pe de o parte, granulele sub presiunea ciocanului sau a valţurilor laminorului se întind şi se mărunţesc, iar pe de altă parte, sub influenţa căldurii ele capătă o formă echiaxială. Dacă temperatura va fi suficient de înaltă, toate granulele întinse vor lua forma echiaxială. Acest proces se numeşte recristalizare.

La prelucrarea la rece, procesul recristalizării nu are loc sau se face insuficient, metalul se ecruisează, adică se întăreşte, iar granulele păstrează forma lor alungită într'o singură direcţie (fig. 107).

Astfel, prelucrarea la rece prin presare, este prelucrarea la care deformarea are loc sub temperatura de recristalizare (granulele rămân întinse).

La unele metale procesul recristalizării are loc chiar la temperatura sub cea a camerei (de exemplu plumbul). La aceste metale prelucrate la rece, ca şi prelucrarea la cald a metalelor cu fuzibilitatea înaltă va lipsi ecruisajul.

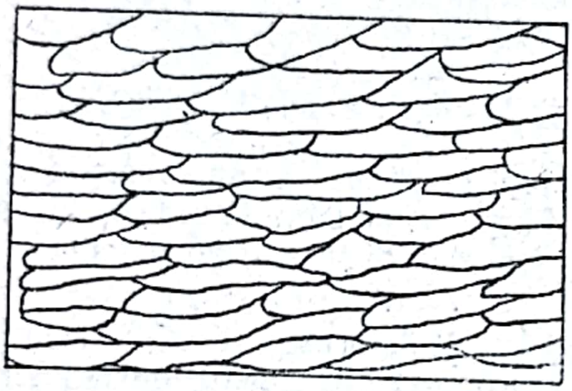


Fig. 107. Granulele ecruisate.

Deobicei, operaţiei de prelucrare la rece prin presare, se supun metalele prelucrate la cald, având grosimea de maximum 3···6 mm.

Pentru obţinerea tablelor groase cu dimensiuni precise, laminarea la cald se termină la grosimea cu 1···2 mm mai mare decât dimensiunea prescrisă, apoi dimensiunile precise se obţin prin laminare la rece.

Prelucrarea lingourilor la rece nu este economică, deoarece sunt necesare agregate puternice, creşte numărul de operaţii etc. De sigur, în unele cazuri, trebue să se aplice această prelucrare, deoarece prelucrarea la cald a unor materiale (de exemplu a maillechortului, plumbului, etc.) prezintă dificultăţi.

Dacă în timpul prelucrării la cald gradul de ecruisare a fost mare iar temperatura sfârşitului prelucrării scăzută, metalul se supune recoacerii pentru îndepărtarea ecruisajului. Ulterior metalul se atacă cu soluţie 8···12 % acid sulfuric pentru îndepărtarea scoriei obţinute în timpul prelucrării la cald şi recoacerii, apoi se spală, se usucă şi se şabăruie pentru îndepărtarea defectelor (fisurilor, reprizelor, denivelărilor etc.) După şabăruire, metalul se prelucrează la rece prin presare. Se recomandă ca după atacare metalul să se supună încălzirii timp de 2···3 ore, la temperatura de 200 °C, pentru îndepărtarea hidrogenului absorbit în timpul atacării. Prezenţa hidrogenului favorizează formarea crăpăturilor la deformarea metalului la rece.

De foarte multe ori, prelucrarea la rece este însoţită de recoaceri intermediare. In acest caz, după fiecare recoacere se face atacarea.

53. Influenţa ecruisării asupra proprietăţilor mecanice

Granulele din care sunt formate metalele prezintă aşa numitele planuri de alunecare, după care, în timpul prelucrării la rece, are loc deplasarea unor părţi ale granulelor faţă de altele. Deobicei cristalele

prezintă câteva planuri de alunecare. Deplasarea care începe într'un singur plan, încetează repede şi începe în alt loc după un nou plan de alunecare şi aşa mai departe. Intărirea porţiunilor de granule care suportă foarte uşor alunecarea, duce în ultima analiză la întărirea întregului material şi la micşorarea plasticităţii.

Planurile de alunecare sau liniile de deplasare au direcţie diferită în diferitele cristale ale aceluiaşi metal. In fig. 108 se văd clar liniile de deplasare la oţelul moale.

Câteodată, în special după recoacerea metalului ecruisat, apar linii duble, paralele sau deformate. Datorită orientării cristalografice diferite, metalul nu este atacat la fel între aceste linii. Aceste deplasări se numesc dublete. Dubletele se formează uşor în cupru, în aliajele lui şi în oţeluri austenitice.

Fig. 109 prezintă microstructura bronzului cu aluminiu, cu formarea dubletelor şi cu liniile de deplasare.

Până în prezent, cauza formării dubletelor nu este stabilită. In timpul prelucrării la rece, suprafaţa metalului devine mai puţin netedă decât înainte de prelucrare. Neuniformitatea suprafeţei depinde de mărimea granulei iniţiale şi de grosimea materialului. Dacă granulele şi deformarea vor fi mici, neuniformităţile arătate mai sus nu se pot observa cu ochiul liber, iar suprafaţa va părea mată. Totuşi şi în acest caz, şlefuirea şi polisarea se vor face cu greutate.

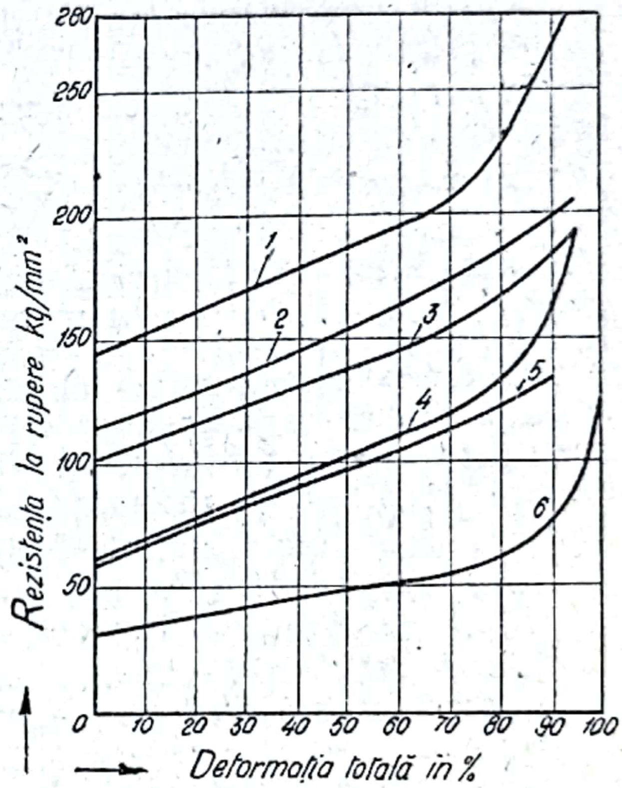


Fig. 110. Variaţia proprietăţilor mecanice în funcţie de gradul de deformare:

1 — sârmă de pian patentată (C = 0,90%); *2* — sârmă de arcuri patentată (C = 0,70%); *3* — sârmă de cablu patentată (C = 0,50%); *4* — sârmă de cablu patentată (C = 0,30%); *5* — sârmă de ace recoaptă (C = 0,90%); *6* — fierul Armco (C = 0,02%).

Formarea suprafeţei cu asperităţi se explică prin aceea că, la întinderea metalului, ies la suprafaţă unele muchii ale cristalelor.

Ecruisarea influenţează mult asupra proprietăţilor metalelor. In unele cazuri variaţia proprietăţilor atinge 400% faţă de cele iniţiale.

Rezistenţa de rupere, limita de elasticitate, limita de proporţionalitate şi duritatea cresc prin ecruisare, în timp ce alungirea, gâtuirea şi rezilienţa se micşorează. Plasticitatea scade cu atât mai mult cu cât ecruisarea este mai mare.

In cazul ecruisării prea mari, când limita de curgere se apropie de rezistenţa de rupere, iar alungirea scade mult, metalul devine aşa de rigid încât o mică deformare reziduală provoacă ruperea lui.

Scăderea tenacităţii oţelului după prelucrare la rece, va fi mai mare în direcţia transversală decât în cea longitudinală. In acest caz, cu cât granulele materialului iniţial sunt mai mari, cu atât tenacitatea scade mai mult. Se recomandă ca deformarea maximă să se facă în direcţia longitudinală.

Variaţia proprietăţilor are loc cu atât mai puternic cu cât gradul de deformare este mai mare.

In fig. 110 se dau curbele cu variaţia rezistenţei de rupere a oţelurilor carbon, în funcţie de gradul de deformare.

Ecruisarea favorizează coroziunea metalului.

54. Factorii care influenţează asupra capacităţii de deformare a metalului

Procedeul de elaborare a oţelului şi conţinutul lui de carbon are influenţă asupra variaţiei proprietăţilor mecanice în timpul ecruisării. Acest lucru poate fi caracterizat de următoarele date relative la creşterea rezistenţei de rupere, la deformarea de 40%:

oţel necalmat moale 10 kg/mm²;
oţel calmat (desoxidat) moale 18 kg/mm²;
oţel tare 22 kg/mm².

Efortul depus în timpul deformării, depinde de compoziţia chimică şi de proprietăţile metalelor, de proprietatea acestora de a se deforma, de forma şi de tratamentul sculelor şi de starea suprafeţei acestora (în cazul trefilării şi întinderii), de sistemul de ungere şi de condiţiile de frecare, de viteza şi de temperatura de deformare.

Mai uşor se deformează metalul pur şi aliajele cu soluţie solidă omogenă. Capacitatea metalelor pure de a se deforma la rece, este diferită. Dintre metalele tehnice, nichelul are această proprietate în cea mai mare măsură, aluminiul foarte puţin, iar cuprul şi oţelul moale au valori mijlocii în ceeace priveşte proprietatea de ecruisare.

Prezenţa structurii neomogene micşorează proprietatea de deformare a metalelor. In acest caz, cu cât structura este aşezată mai uniform, cu atât metalul se deformează mai bine.

In unele cazuri, prezenţa compuşilor chimici face imposibilă deformarea metalului la rece.

Oţelul destinat prelucrării la rece, trebue să aibă structura sorbitică, sau perlitică cu granule mici distribuite uniform. Dacă structura semifabricatului va prezenta aglomerări de ferită şi va fi supraîncălzită, oţelul se va deforma neuniform, ceeace va duce la apariţia crăpăturilor.

In practică se ţine de foarte multe ori seamă de faptul că ecruisarea schimbă proprietăţile metalului şi pentru obţinerea anumitor proprietăţi, se transmite intenţionat o anumită deformare.

La răcirea metalului lichid se formează micropori.

Dacă deformarea va fi mică, metalul devine mai compact adică densitatea lui creşte. In cazul deformărilor prea puternice, odată cu această îndesare, are loc alunecarea cristalelor şi formarea dubletelor. Aceasta duce la faptul constatat că în urma deformării puternice se observă micşorarea densităţii.

In tab 32 se dau datele relative la variaţia densităţii sub influenţa deformării.

Tabela 32

Influenţa deformării asupra densităţii diferitelor metale [1])

Denumirea metalelor	Densitatea		Micşorarea densităţii în urma prelucrării în %
	In stare nedeformată	In stare întinsă	
Platină curată	21,4403	21,4133	0,13
Platină-rodiu	21,4938	21,4766	0,08
Aur	19,2601	19,2504	0,05
Sârmă de aluminiu	2,7030	2,6995	0,13
Tablă de aluminiu	2,7127	2,7107	0,07
Cadmiu	8,6434	8,6379	0,06
Nichel	8,8439	8,7599	0,19
Sârmă de pian	7,7970	7,7772	0,25
Argint	10,4475	10,4410	0,06
Cupru	8,8317	8,8313	0,00
Staniu	7,2831	7,2827	0,00

[1]) I. A. Iuhveţ şi T. M. Alexeenco, Trefilarea la rece a metalelor neferoase, ONTI, 1938.

55. Recoacerea metalului ecruisat

Pentru a reda metalului proprietăţile lui anterioare se aplică recoacerea în timpul căreia are loc recristalizarea. Temperatura de recristalizare depinde de compoziţia chimică a metalului, de gradul de deformare, de durata de menţinere şi de mărimea granulelor materialului iniţial. Prezenţa corpurilor străine împiedică procesul recristalizării.

A. A. Bocivardă următoarea formulă pentru determinarea temperaturii de recristalizare a metalelor pure:

$$T \text{ recr} = 0{,}4 \; T \text{ top.}$$

Pentru aliaje şi soluţii solide, temperatura se găseşte ceva mai sus decât cea calculată după formula lui Bocivar.

Temperaturile la care în mod practic începe recristalizarea după o ecruisare însemnată este de 200 °C în cazul cuprului, aurului şi argintului; pentru oţel moale şi platină 450 °C; pentru nichel 660 °C; pentru wolfram 1200 °C; pentru molibden 900 °C; pentru aluminiu şi magneziu 150 °C; pentru zinc 20 °C; pentru staniu şi plumb sub zero grade.

Totuşi, la aceste temperaturi recristalizarea are loc atât de încet încât este necesară o durată de menţinere foarte mare pentru terminarea completă a procesului. Din această cauză recoacerea se face la temperaturi mai înalte: în cazul cuprului la temperatura de 500···650 °C, a oţelului moale la 600···750 °C, a aluminului la 400···450 °C.

In timpul încălzirii metalului ecruisat, sub influenţa căldurii vor avea loc schimbări în structură: alături de granulele iniţiale întinse sau turtite, se nasc granule noi mici, orientate diferit şi echiaxiale.

Formarea granulelor se face la margini, în special în locurile de unire a trei granule şi pe liniile de deplasare. In acest caz are loc distrugerea totală sau parţială a structurii iniţiale.

Granulele iniţiale nu se distrug deodată ci treptat, pe măsura creşterii numărului granulelor noi. Granulele noi pot atinge dimensiuni foarte mari şi din această cauză durata de menţinere a metalului ecruisat la temperatura dată se stabileşte exact. Trebue remarcat că în metalul ecruisat recopt, dimensiunile granulelor variază foarte mult în aceeaşi bucată. Odată cu granulele mari vor exista şi granule mici.

Dimensiunile granulelor depind de gradul de deformare. In aceleaşi condiţii de încălzire granulele vor fi cu atât mai mari cu cât deformarea a fost mai slabă. O deformare foarte mare nu este însoţită de creşterea dimensiunilor granulelor în timpul încălzirii şi metalul îşi păstrează granulele în dimensiunile iniţiale.

Această lege a creşterii granulelor se aplică aproape pentru toate aliajele studiate din acest punct de vedere. Excepţie face oţelul cu conţinut redus de carbon (cu conţinut de carbon până la 0,15%) care dă mărimea maximă a granulelor la aşa numitul grad critic de deformare.

Deformările mai mari sau mai mici decât deformarea critică, au un efect mai mic în ceeace priveşte creşterea granulelor.

O durată de menţinere mare în timpul recoacerii de recristalizare, poate duce la formarea granulelor prea mari. Granulele mari ale metalului ecruisat recopt pot fi transformate în granule mai mici prin recoacere la temperatura deasupra punctului Ac_3.

In prezent, s'a stabilit legea variaţiei mărimii granulelor în metale, în funcţie de temperatura de încălzire şi de gradul de deformare.

La încălzirea metalului ecruisat, la început are loc formarea granulelor noi, al căror număr creşte până când vor dispărea granulele

vechi. După aceasta granulele noi încep să crească. Caracterul acestei creşteri depinde de gradul de deformare la rece, de temperatură şi de durata de menţinere şi anume:

1) Cu cât gradul de deformare este mai mare, cu atât temperatura de recristalizare este mai joasă.

2) Cu cât gradul de deformare este mai mare, cu atât granulele formate din nou sunt mai mici. La deformarea prea puternică (presiune peste 50%) nu se formează granule mari nici la temperaturi ridicate de încălzire.

3) Cu cât încălzirea se face la temperatură mai înaltă şi cu cât durata de menţinere este mai lungă, cu atât granulele cresc mai mult.

4) Aplicând oţelului cu puţin carbon un grad anumit de deformare concomitent cu temperatura de încălzire, granulele cresc şi ating dimensiuni maxime.

5) Cu cât temperatura de recristalizare este mai joasă, cu atât încălzirea necesară recristalizării trebue să fie mai îndelungată şi cu atât granulele formate din nou sunt mai mici.

6) Cu cât granulele materialului iniţial înainte de deformare sunt mai mici, cu atât temperatura de recristalizare este mai joasă.

7) Decarburarea poate duce la formarea granulelor foarte mari, pe suprafaţă.

Recristalizarea este însoţită de schimbarea proprietăţilor mecanice ale metalului.

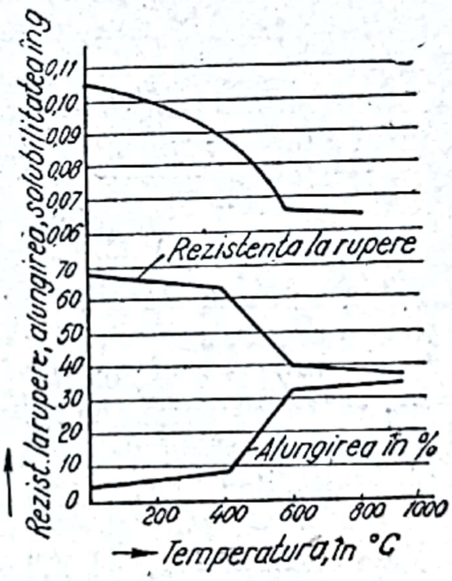


Fig. 111. Variaţia proprietăţilor mecanice şi a solubilităţii în soluţia de 1% acid sulfuric, în funcţie de temperatura de revenire a metalului ecruisat.

In fig. 111 se găsesc curbele cu variaţia rezistenţei de rupere, a alungirii şi a solubilităţii în soluţia de 1% acid sulfuric, în funcţie de temperatura de revenire a metalului ecruisat.

In loc să se obţină proprietăţile mecanice direct prin ecruisare fără revenire, în practică, în majoritatea cazurilor se obţin anumite proprietăţi mecanice cu ajutorul ecruisării, urmat de revenire.

Presupunem că trebue să fabricăm un oţel cu rezistenţa de rupere de circa 50/kg/mm². Pentru aceasta oţelul se supune prelucrării la rece, iar temperatura de revenire se alege pe diagrama de variaţie a proprietăţilor metalului ecruisat în funcţie de temperatura de încălzire (fig. 111). Această temperatură va fi aproximativ de 575 °C.

Ştiind gradul de ecruisare şi dimensiunile piesei gata, va fi uşor să se determine grosimea la care trebue executată recoacerea:

$$H = h\left(1 + \frac{a}{100}\right) \text{ mm}$$

unde H este — grosimea la care trebue să se facă recoacerea;
h „ — dimensiunea piesei gata;
a „ — procentul de deformare.

Proprietăţile materialului încercat imediat după ecruisare se deosebesc mult de proprietăţile aceluiaşi material după o revenire neînsemnată sau după trecerea unui timp îndelungat.

Incălzirea metalului ecruisat până la temperatura de 100···300 °C, accelerează schimbarea proprietăţilor mecanice, adică ridică rezistenţa şi coboară plasticitatea şi proprietăţile de tenacitate (rezistenţa) ale oţelului.

Comparând rezistenţa de rupere şi limita de elasticitate a materialului ecruisat după revenire la temperatura joasă şi fără revenire, vom afla că materialul nerevenit are valori mai mari de rezistenţă de rupere, dar are cu mult mai mici valori în ceeace priveşte limita de elasticitate. Deoarece pentru majoritatea construcţiilor un rol foarte important îl are limita de elasticitate, materialul ecruisat trebue supus revenirii la temperatură joasă.

La utilizarea materialului ecruisat, trebue să se ia în considerare faptul că în anumite condiţii de lucru (de exemplu la temperaturi ridicate) piesele fabricate din material ecruisat pot să piardă o parte din proprietăţile lor.

56. Ecruisarea suprafeţei pieselor cu ajutorul alicelor

Crearea unei ecruisări la adâncimea de 0,15···3 mm pe suprafaţa pieselor, duce la ridicarea duratei de lucru a acestora în timpul încercărilor cu sarcini de sens variabil (întindere şi contracţie).

Deoarece multe piese lucrează cu sarcini de sens variabil (alternative) acest fenomen se utilizează pe scară largă în industrie. După datele lui A. D. Assonov, prin ecruisare, arborii cutiei de viteze, roţile dinţate pentru mersul înapoi al automobilului îşi sporesc durata de funcţionare de 4···5 ori, arborii cotiţi de 9 ori, iar arcurile spirale de 13···14 ori.

Intărirea superficială se face cu alice de oţel călit sau de fontă. Alicele de oţel sunt mai rezistente, dar fabricarea lor este costisitoare. Mai ieftine, dar şi mai puţin rezistente sunt alicele fabricate din fontă albă (3,45% C, 1,8% Si, 0,55% Mn, — N. F. Bolhovitinov). Diametrul alicelor variază, în funcţie de piese, dela 0,4 până la 2 mm. De exemplu, arborii cotiţi şi bielele sunt suflate cu alice având diametrul de 0,13···0,76 mm, arcurile de supapă — 0,5 mm. Cu cât alicele sunt mai mici, cu atât suprafaţa este mai curată. Alicele mai mari

provoacă o ecruisare mai puternică, dar suprafaţa devine aspră. In unele cazuri prelucrarea cu alice permite să se excludă şlefuirea şi polisarea pieselor.

Alicele se trimit cu ajutorul unei turbine pe suprafaţa pieselor care se pun în mişcare, pentru ca ecruisarea să se facă uniform pe toată suprafaţa lor. In urma loviturilor provocate de alice, la început are loc ecruisarea superficială, iar apoi defectele superficiale se netezesc şi dispar.

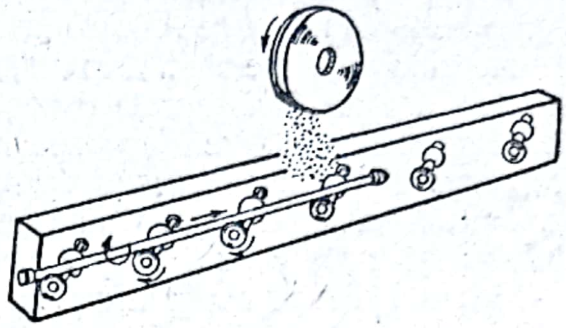


Fig. 112. Schema instalaţiei pentru ecruisarea arborilor cu ajutorul alicelor.

Gradul de ecruisare superficială provocată de alice are o mare importanţă şi din această cauză operaţia se controlează cu atenţie. In acest scop, o placă din oţel de arc cu dimensiunile de $75 \times 20 \times 1{,}2$ mm (sau $75 \times 20 \times 2{,}4$ mm în cazul prelucrării intense) cu duritatea $H_{Rc} = 44 \cdots 55$, se supune acţiunii alicelor. Sub influenţa ecruisării dintr'o singură parte, placa se îndoaie. Măsurând săgeata cu ajutorul indicatorului, se află intensitatea de prelucrare. O intensitate prea mare de prelucrare poate duce la apariţia crăpăturilor. Pentru fiecare din piese trebue determinat pe cale experimentală intensitatea optimă de prelucrare şi săgeata corespunzătoare acestei intensităţi.

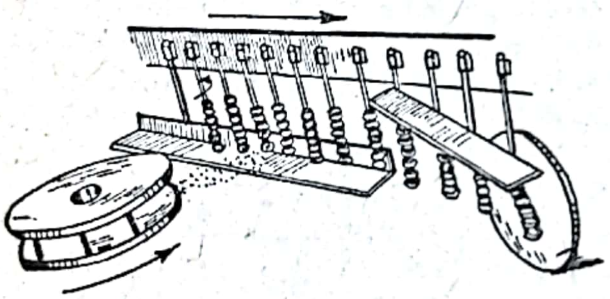


Fig. 113. Schema instalaţiei pentru ecruisarea arcurilor supapei cu ajutorul alicelor.

Ecruisarea cu ajutorul alicelor se aplică atât pieselor din fontă cât şi celor din aliaje uşoare.

In fig. 112 şi 113 se arată instalaţiile pentru ecruisarea arborilor de torsiune şi a arcurilor supapelor cu ajutorul alicelor.

CAPITOLUL XI

FONTELE

Fontă se numeşte orice aliaj oţel-carbon, care conţine dela 1,7 până la 6,67% carbon.

Inafară de carbon, fontele conţin siliciu, mangan, fosfor şi sulf. Conţinutul acestor impurităţi în fontă, este mult mai mare decât în în oţel, datorită procedeului de elaborare.

Fontele care conţin până la 4,3% carbon, se numesc hipoeutectice, cele cu peste 4,3% carbon hipereutectice şi în sfârşit cele care conţin exact 4,3% carbon, eutectice.

Proprietăţile mecanice ale fontelor se deosebesc mult de proprietăţile mecanice ale oţelului. După rupere, epruvetele de oţel au alungire şi gâtuire mare a suprafeţei secţiunii transversale, în timp ce la fonte alungirea şi gâtuirea aproape nu există. Cu toate acestea, datorită preţului de cost redus şi proprietăţii de a se turna bine şi uşor, fontele au o mare răspândire în construcţia de maşini. Se cunosc fonte albe şi fonte cenuşii.

Dacă aliajele cu conţinut ridicat de carbon se răcesc repede ele vor fi formate din perlită şi cementită. Fontele la care tot carbonul se găseşte sub forma de compus chimic se numesc fonte albe (fig. 114).

Fontele albe au duritatea şi fragilitatea mai mare şi nu se pot prelucra mecanic. Sunt fragile în special fontele eutectice şi hipereutectice. Aceste fonte se întrebuinţează mai ales pentru fabricarea oţelului şi pentru piese fasonate, denumite piese turnate din fontă maleabilă. In sfârşit, în cazurile când piesele trebue să aibă o duritate superficială mare (roţile de vagoane, valţurile de laminor), pe suprafaţă se formează fonta albă, în timp ce masa principală a pieselor e formată din fontă cenuşie (piese turnate cu suprafaţa albită).

O mare importanţă pentru industria electrotehnică o are fonta nemagnetică, care se întrebuinţează ca înlocuitor al metalelor neferoase. Aceste fonte conţin nichel, mangan, siliciu şi câteodată cupru. Fonta cu mangan-nichel-siliciu, conţine circa 3,5% carbon, 2,0 ... 2,5% siliciu 8,0 ... 9,0% mangan, 4,0 ... 4,5 nichel. Fonta nemagnetică pe care o întrebuinţează pe scară largă industria noastră, conţine 3,5 ... 3,9% carbon, 2,4 ... 2,8% siliciu, 8,0 ... 10,0% mangan, 1,5 ... 2,0% cupru, 1,1 ... 0,7% aluminiu.

57. Fontele cenuşii

Fontele cenuşii se caracterizează prin prezenţa în ele a carbonului, în special sub forma de grafit, care se formează:

1) direct după răcirea piesei turnate (fonte cenuşii de turnătorie);

2) la încălzirea fontelor albe (fonte maleabile) prin descompunerea carburii pe fier (cu formarea carbonului de recoacere).

Fontele de turnătorie se caracterizează prin prezenţa grafitului, format în urma descompunerii cementitei care se separă la răcirea aliajului solidificat. Totuşi în prezent s'a dovedit experimental că grafitul se poate separa direct din soluţia lichidă.

Proprietăţile mecanice ale fontei depind de cantitatea şi de forma grafitului separat, cum şi de structura metalică de bază, influenţând şi duritatea fontei.

Cantitatea de grafit separat depinde de viteza de răcire, de prezenţa impurităţilor şi de o serie de alte cauze.

In funcţie de gradul de descompunere al cementitei, pot avea loc următoarele cazuri (înafară de fontele albe) de obţinerea structurii metalice:

1) cementita structural liberă s'a descompus numai parţial. Fontele vor conţine (în structură) cementită, perlită şi grafit;

2) cementita liberă s'a descompus complect, dar perlita s'a păstrat. In acest caz se obţine structura perlito-grafitică;

3) cementita şi o parte din cementită care intră în perlită, s'au descompus. Fonta va avea structura: grafit, perlită şi ferită;

4) toată cementita s'a descompus. Fonta va fi alcătuită din ferită şi grafit.

58. Influenţa formei incluziunilor şi impurităţilor de grafit, asupra proprietăţilor mecanice ale fontei

Scăderea proprietăţilor mecanice ale fontei în comparaţie cu cele ale oţelului se explică prin aceea că lamelele de grafit slăbesc baza metalică şi distrug integritatea ei. Dimensiunile, forma şi numărul incluziunilor de grafit au o importanţă foarte mare. In fontă, grafitul poate să se găsească sub formă de (fig. 115):

1) lamele drepte sau puţin îndoite;
2) lamele îndoite mult;
3) incluziuni rotunjite.

Fontele cu incluziuni de grafit mici aşezate uniform, au proprietăţi mecanice mai ridicate, din care cauză în elaborarea fontei cenuşii se tinde să se obţină această formă de grafit.

Dimensiunile incluziunilor de grafit depind de următorii factori:

1) condiţiile de turnare a fontei (temperatura de supraîncălzire şi viteza de răcire);

2) compoziţia fontei.

Incluziunile de grafit sunt cu atât mai mici cu cât răcirea fonte topite a fost mai rapidă. Totuşi nu se poate aplica o viteză de răcire prea mare, deoarece fonta se poate transforma în fontă albă.

Supraîncălzirea fontei (până la temperatura de 1 400 ... 1 600 °C) precum şi durata mare de menţinere a ei în stare topită la temperaturi mai joase, favorizează obţinerea incluziunilor mai mici de grafit.

Siliciul are o mare influenţă asupra obţinerii fontelor cenuşii. In cazul conţinutului ridicat de siliciu, se poate obţine fontă cenuşie, chiar la viteze mari de răcire. Totuşi un conţinut mare de siliciu favorizează obţinerea lamelelor mari de grafit şi din această cauză conţinutul lui în fonte este limitat.

In practică, conţinutul de siliciu în fontele cenuşii variază dela 1,5% până la 3,5%, în funcţie de conţinutul de alte impurităţi şi de viteza de răcire.

Manganul favorizează transformarea fontei în fontă albă: Dacă fonta conține sulfură de fier (FeS), manganul scoate sulful din fier și-l leagă în sulfură de mangan (MnS), dar odată cu aceasta, manganul dă carburi duble foarte stabile Mn_3CFe_3C, împiedicând prin aceasta grafitizarea. Deoarece sulfura de mangan (MnS) are greutatea specifică mai mică decât fonta, acest compus se ridică la suprafața ei și micșorează prin aceasta conținutul de sulf din fontă.

Tabela 33

Proprietățile mecanice ale pieselor turnate din fontă cenușie obișnuită și fontă modificată

Calitatea fontei	Rezistența de rupere în kg/mm²	Rezistența de îndoire în kg/mm²	Săgeata de îndoire în mm		Rezistența la contracție, în kg/mm²	Duritatea H_B
			Pe epruveta 600, mm	Pe epruveta 300, mm		
I. Fonta de turnătorie obișnuită (GOST 1412-48)						
СЧ—00						Nu a fost supusă încercării
СЧ 12—28	12	28	6	2	50	143—229
СЧ 15—32	15	32	7	2	60	163—229
СЧ 18—36	18	36	8	2	67	170—229
СЧ 21—40	21	40	8	2	75	170—241
СЧ 24—44	24	44	9	3	83	170—241
СЧ 28—48	28	48	9	3	90	170—241
СЧ 32—52	32	52	9	3	100	170—241
II. Fonta modificată (GOST 2611-44)						
СЧМ 28—48	28	48	9	3	90	170—241
СЧМ 32—52	32	52	9	3	100	171—241
СЧМ 35—56	35	56	9	3	110	197—243
СЧМ 38—60	38	60	9	3	120	196—262

Conținutul de mangan până la 1% are influență pozitivă asupra proprietăților mecanice ale fontelor cenușii, ridicând rezistența de rupere, la îndoire și la șoc (lovire).

Sulful favorizează transformarea fontei în fontă albă. In piesele turnate din fontă cenușie, se admite conținutul de sulf până la 0,1%.

Fosforul este neutru. El nu are nicio influență asupra separării grafitului și se adaugă de obicei pentru a îmbunătăți fluiditatea.

Fontele în care în stare topită s'au introdus cantități mici de adausuri (modificatori) de fero-siliciu și silico-calciu (compuși chimici ai siliciului cu fier sau calciu) au proprietăți mecanice ridicate. In



Fig. 108. Liniile de deplasare la oțel cu 0,08% C.

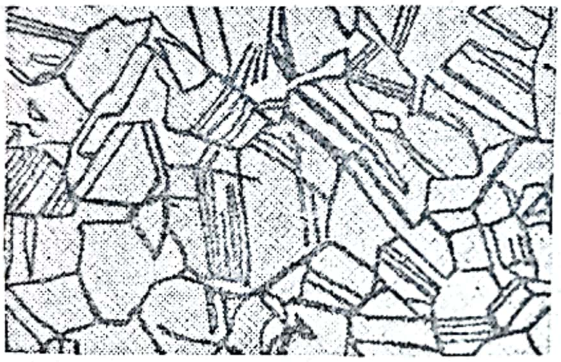


Fig. 109. Formarea dubletelor în bronz cu aluminiu.

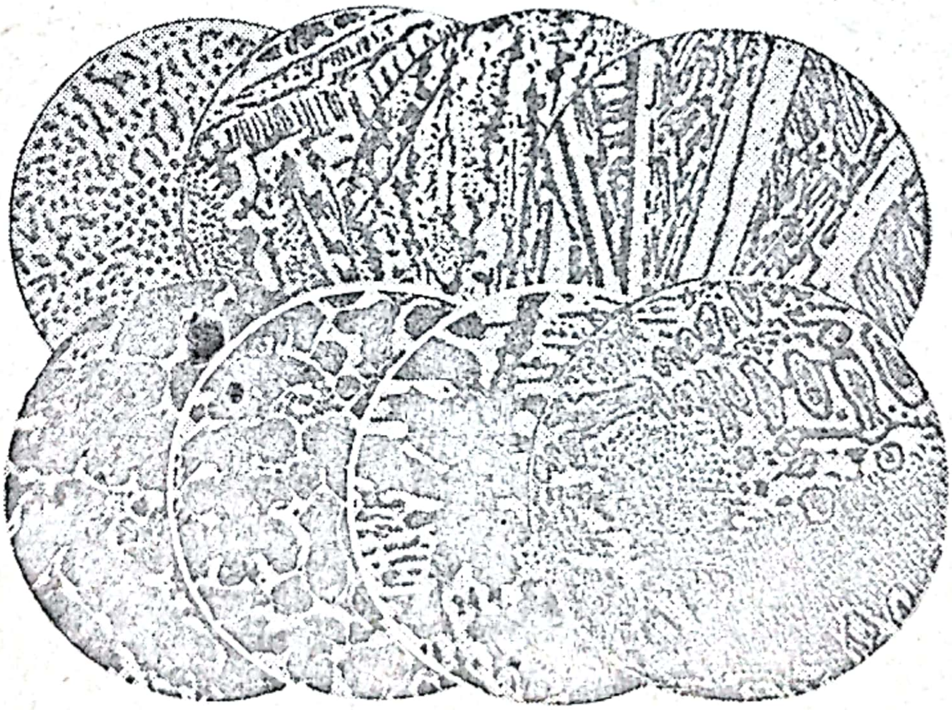


Fig. 114. Microstructura fontelor albe G. A. Cașcenco.

12*

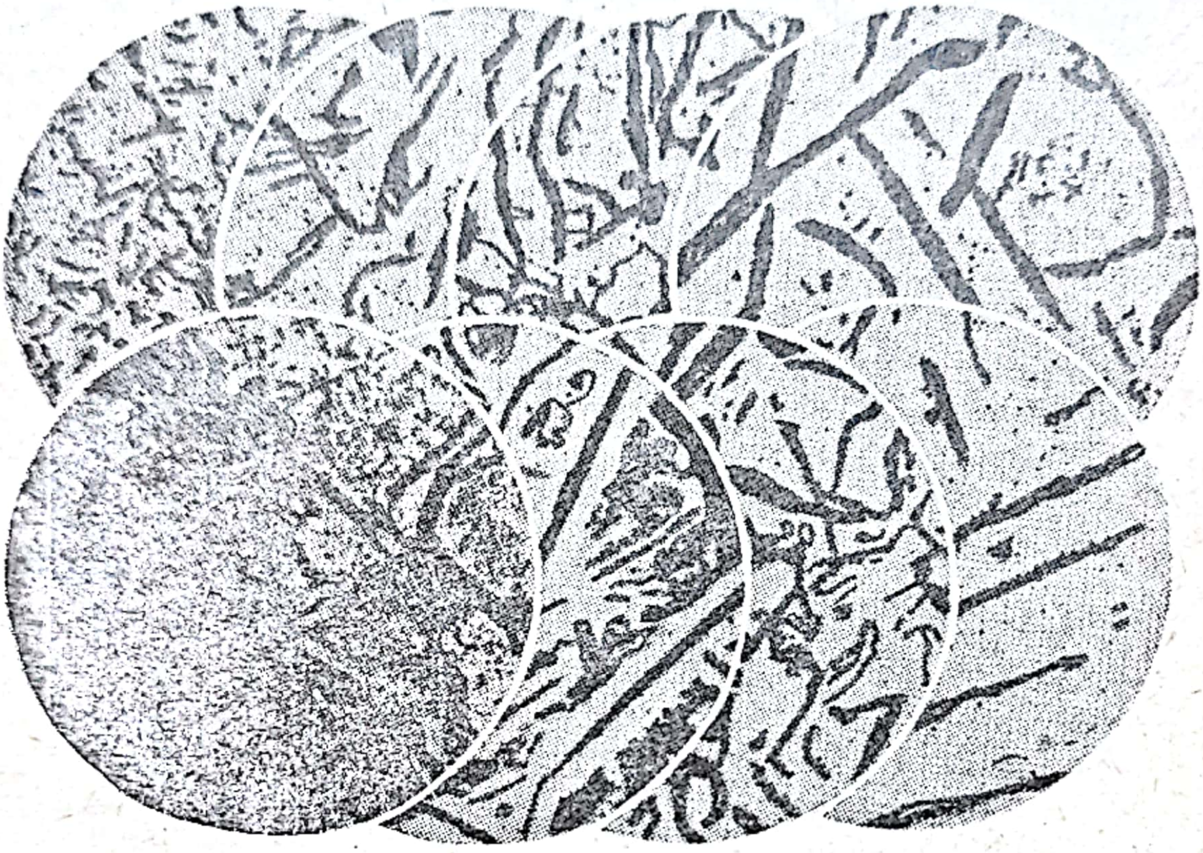


Fig. 115. Incluziuni de grafit, în fontă, diferite ca formă şi mărime. G. A. Caşcenco.



Fig. 124. Structura babitului (BVZ) A. P. Guleaev.

urma acţiunii modificărilor se obţine fontă cu structură metalică mai măruntă, ceeace are influenţă favorabilă asupra proprietăţilor ei. Fontele modificate, în comparaţie cu fontele cenuşii obişnuite, au o rezistenţă mai ridicată la uzură în special la presiuni mari, atât la temperatura normală cât şi la temperaturi înalte.

In tabela 33, se dau condiţiile tehnice pe care trebue să le îndeplinească piesele turnate din fontă cenuşie obişnuită şi fontă modificată.

59. Tratamentul termic al fontelor cenuşii

Tratamentul termic al fontelor cenuşii are drept scop:

1) să elimine tensiunile interne din piesele turnate;

2) să scadă duritatea şi prin aceasta să îmbunătăţească prelucrarea pe maşini unelte;

3) să sporească proprietăţile mecanice;

4) să dea suprafeţei proprietăţi speciale (cementare şi nitrurare).

La turnarea fontei în piese, datorită răcirii deosebite a miezului şi suprafeţei, se nasc tensiuni mari care pot provoca crăpături şi favorizează îndoirea şi distrugerea pieselor în timpul lucrului. Aceste tensiuni se elimină uşor prin revenire la temperatura de 425···550 °C. Temperatura de revenire pentru piese mici şi cu forma simplă, poate fi scăzută până la 350 °C. Durata menţinerii la temperatura de revenire, variază în funcţie de forma şi de dimensiunile pieselor turnate, dela 30 minute până la 6 ore. Răcirea după revenire, se face odată cu cuptorul. La încălzirea pentru revenire nu au loc schimbări de structură şi fonta pierde puţin din duritatea ei.

Mai înainte piesele turnate se ţineau timp de câteva luni la temperatura obişnuită. De sigur nu se poate recomanda această metodă de eliminare a tensiunilor interne, deoarece ea duce la o frânare a producţiei de piese gata.

Recoacerea de înmuiere se face la temperatura de 700···850 °C, timp de câteva ore. De exemplu ramele preselor şi a maşinilor unelte, se supun recoacerii la temperatura de 750 °C, pistoanele la temperatura de 780···800 °C, piesele maşinilor de scris şi de tors la temperatura de 800···850 °C, bucşele de mărime potrivită, inelele de piston la temperatura de 700···900 °C, tuburile pentru turnare centrifugală la temperatura de 850···1000 °C. Duritatea fontei cu bază de perlită scade în special în timpul încălzirii până la temperatura de 750 °C. Această scădere a durităţii este provocată de formarea în locul perlitei, a feritei şi grafitului.

La fabricarea pieselor turnate din fontă cenuşie, apar de multe ori la colţuri, margini şi proeminenţe, un strat de fontă albă, superficial, cu o adâncime diferită. Acest strat se caracterizează prin pre-

zenţa cementitei, perlitei sorbitice şi chiar a martensitei. El se prelucrează greu.

Pentru îndepărtarea stratului de fontă albă apărut la proeminenţe, se face recoacerea la temperatura de 940···980 °C, timp de 3···6 ore, urmată de răcire înceată. Durata de menţinere la temperatura de recoacere, depinde de compoziţia chimică a fontei. Cu cât numărul de elemente care favorizează formarea grafitului este mai mare, cu atât descompunerea cementitei se face mai repede.

Pentru îmbunătăţirea proprietăţilor mecanice, precum şi pentru ridicarea rezistenţei pieselor la uzură şi la frecare, se aplică călirea fontei la temperatura de 850···900 °C, urmată de revenire la temperatura de 300···400 °C sau de normalizare.

Prezenţa incluziunilor de grafit în fontă, favorizează formarea crăpăturilor şi din această cauză încălzirea fontei trebue făcută încet şi cu precauţie. Câteodată, în timpul tratamentului termic al pieselor turnate, se aplică încălzirea în prealabil până la temperatura de 200···300 °C. Se recomandă ca piesele de formă complicată să se introducă în cuptorul rece, şi după aceea să se facă încălzirea împreună cu cuptorul.

In timpul călirii în ulei, la temperatura de 180 °C proprietăţile mecanice ale fontelor ferito-perlitice cresc mult datorită creşterii cantităţii de perlită, care în acest caz are structura formată din lamele mici.

Din punct de vedere al proprietăţilor mecanice, aceste fonte sunt inferioare celor cu perlită. In timpul călirii fontei perlitice în ulei, la temperatura de 180 °C, toate proprietăţile mecanice cresc, în timp ce în timpul călirii în apă şi în ulei la temperatura de 20 °C, proprietăţile mecanice scad.

Proprietatea de călire a fontei depinde de cantitatea de perlită, de temperatura de încălzire şi de mediul de răcire. Fontele aliate cu crom, molibden, nichel şi mangan, se pot căli în aer.

Fonta călită se supune revenirii. Odată cu ridicarea temperaturii de revenire până la 350···400 °C, creşte rezistenţa de rupere, ceeace se explică prin micşorarea tensiunilor în piesele turnate. Ridicând temperatura de revenire până la 500···550 °C, rezistenţa de rupere scade din nou până la valoarea iniţială. Duritatea şi rezistenţa la uzură cresc în urma călirii şi revenirii.

Piesele din construcţia de avioane, — supapele, bucşele, segmenţii de piston, — se călesc la temperatura de 840 °C şi se supun revenirii la temperatura de 550···600 °C.

Deoarece încălzirea legată de tratamentul termic provoacă schimbarea dimensiunilor, prelucrarea pieselor pe maşini unelte, pentru finisare, trebue să se execute după tratamentul termic.

Pentru ridicarea rezistenţei la uzură, unele piese de fontă — cilindrii automobilelor, tractoarelor, pompelor, compresoarelor, etc., — se supun nitrurării. Nitrurarea se face la temperatura de 500···600 °C, în curent

de amoniac, timp de 20···90 ore. Pentru nitrurare se întrebuinţează fonte speciale conţinând crom şi aluminiu, cu conţinut mic de carbon (2,0···2,6%).

Piesele mari de maşini unelte, turnate, au în unele cazuri duritatea scăzută; aceasta se explică prin conţinutul ridicat de siliciu în fontă, prin turnarea fontei în formă uscată şi prin răcirea înceată. Duritatea se poate mări prin călirea pieselor turnate. Totuşi nu se poate face întotdeauna călirea complectă a pieselor de dimensiuni mari, turnate din fontă, deoarece aceasta necesită rezervoare mari de călire iar pe de altă parte poate duce la îndoire şi la formarea crăpăturilor. In acest caz, trebue executată călirea superficială. In acest scop piesele turnate se încălzesc până la temperatura de 830···900 °C, se ţin timp de 1···3 ore şi se scot la aer. Suprafeţele de lucru ale acestora, se stropesc cu apă (duş). In urma acestei căliri, perlita în formă de lamele mari din stratul superficial şi o parte din ferită, trec în perlită în formă de lamele mici şi în perlită sorbitică, transformare care este însoţită de ridicarea durităţii. Această metodă de tratament a fost aplicată în uzina metalurgică din Dnepropetrovsk batiurilor de fontă, care nu aveau duritatea suficientă (105 Brinell).

Tratamentul se făcea în următoarele condiţii: încălzire până la temperatura de 850 °C timp de 12 ore, menţinere timp de 6 ore şi încălzire până la temperatura de 950 °C timp de două ore. După ce se ţinea la temperatura aceasta timp de două ore, batiul se răcea până la temperatura de 400···500 °C într'un curent de apă în toată lungimea, iar pentru răcirea înceată şi eliminarea tensiunilor, se introducea după aceea în cuptor. In urma tratamentului termic, duritatea batiului la suprafaţă era de 178 unităţi Brinell iar la adâncime de 200 mm, de 146 unităţi Brinell.

60. Fontele maleabile

Fontele maleabile, asemenea fontelor cenuşii de turnătorie, conţin carbon sub formă de grafit. Totuşi ele se deosebesc de fontele cenuşii, prin procedeul de obţinere, prin compoziţie, prin forma grafitului şi prin proprietăţi mecanice mai ridicate.

Fontele maleabile se obţin prin recoacerea îndelungată a fontei albe, în care carbonul nu se găseşte liber, ci în cementită. In timpul încălzirii îndelungate, cementita se descompune, iar grafitul separat ia forma rotundă. Dacă recoacerea pieselor turnate din fontă albă se face în vederea obţinerii structurii formate din perlită şi carbon de recoacere, în această stare fonta rezistă bine la frecare şi din această cauză înlocueşte în unele cazuri bronzul (lagăre).

Recoacerea îndelungată a fontei se poate face pentru obţinerea structurii formate din ferită plus carbon de recoacere. Fonta maleabilă cu ferită are plasticitatea mai mare decât fonta cu perlită.

In tabela 34 se dau proprietăţile mecanice ale fontei feritice şi ale fontei perlitice.

Datorită formei rotunde a carbonului de recoacere în fonta maleabilă, masa metalică de bază este mai puţin dispersată şi din această cauză fonta are plasticitatea şi rezistenţa mai mari. Cu cât incluziunile de cărbon sunt mai mari, cu atât fontele mealabile au rezistenţă mai mică.

Tabela 34

Proprietăţile mecanice ale fontei feritice şi perlitice

Felul fontei	Calitatea fontei după GOST 1215-41	Proprietăţile mecanice		
		Rezistenţa de rupere în kg/mm², min.	Alungirea pe epruveta de 16 mm, în % min.	Duritatea H_B max.
Feritică	37—12 35—10 33—8 30—6	37 35 33 30	12 10 8 8	149 149 149 163
Perlitică	40—3 45—4 30—3	40 35 30	3—4 4—5 3—4	201 201 201

Fontele maleabile pot fi obţinute prin încălzire îndelungată fără oxidare, cum şi prin încălzire însoţită de oxidarea carbonului dela suprafaţă. In ultimul caz, încălzirea se face în ţunder (oxid de fier) sau în minereu. Fonta albă iniţială conţine o cantitate ridicată de carbon şi o cantitate mică de siliciu, având următoarea compoziţie chimică: max. 3,3% C; 0,6 ··· 1,1% Si; max. 0,4% Mn; max. 0,22% P şi max. 0,20% S. O parte din carbonul din fontă difuzează spre suprafaţă şi se oxidează. Conţinutul scăzut de siliciu este explicat de faptul că grafitizarea are loc mai repede la un conţinut ridicat de carbon şi din această cauză nu este nevoie de o cantitate suplimentară de siliciu. Grafitizarea este favorizată atât de durata de menţinere mai îndelungată cât şi de temperaturi mai înalte, care deobicei se aplică în cazul obţinerii fontei maleabile prin încălzire însoţită de oxidare la suprafaţă. Această fontă are în straturile superficiale structura feritică, în miez structura ferito-perlitică, iar ruptura miezului de culoare cenuşie.

In cazul când fonta maleabilă se obţine fără oxidare, fonta albă iniţială trebue să conţină mai puţin carbon şi mai mult siliciu.

Piesele turnate din fontă albă se aşează în cutii şi se acoperă cu nisip. Ulterior ele se încălzesc încet, aproximativ până la temperatura de 900 °C, se ţin la această temperatură timp de câteva zeci de ore şi apoi se răcesc foarte încet (circa 5 °/h). Răcirea trebue să

fie înceată în special la trecerea punctului Ar_1. In cazul acestui proces au loc fenomenele descrise mai jos.

La început, la temperatura de circa 900 °C se descompune cea mai mare parte a cementitei, cu separare de grafit sub formă de carbon de recoacere. La răcire, din soluţia solidă se separă cementita, care ulterior se descompune în carbon de recoacere şi ferită. Dacă răcirea nu se face suficient de încet, o parte din cementită rămâne nedescompusă şi se va obţine nu numai ferită, dar şi perlită şi chiar cementită.

Fontele maleabile se întrebuinţează ca material mai potrivit şi mai ieftin pentru piese mici de formă complicată, care nu trebue să îndeplinească condiţii speciale în ceeace priveşte rezistenţa. Intrebuinţarea pentru aceste piese a fontei cenuşii de turnătorie sau a oţelului nu este raţională deoarece prima nu garantează rezistenţa, iar oţelul se toarnă greu.

61. Recoacerea rapidă a fontei maleabile

In prezent găseşte aplicare metoda rapidă de obţinerea fontei maleabile. Accelerarea operaţiei se realizează prin întrebuinţarea pentru încălzire, a cuptoarelor cu atmosferă neutră (fără oxidanţi), prin ridicarea temperaturii de încălzire şi prin executarea călirii iniţiale dând fontei adausuri speciale.

Incălzirea fontei în cuptor cu atmosferă neutră permite ca recoacerea să se facă fără nisip, sguri sau alte substanţe şi o apără astfel de oxidare. Aceasta dă posibilitate să se facă o încălzire rapidă. Ridicarea temperaturii de recoacere până la 1 000 ... 1 050 °C, duce la descompunerea rapidă a cementitei în timp de câteva ore, pe când la recoacerea în cuptoare mari la temperatură de 900 °C, sunt necesare pentru aceasta 80 ... 150 ore.

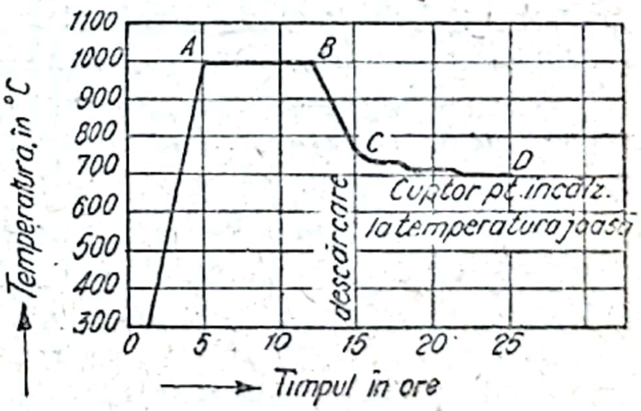


Fig. 116. Curba recoacerii fontei maleabile în cuptoare electrice.

Lipsa materialelor de acoperire permite executarea răcirii mai rapide. In fig. 116 se dă curba de recoacere a fontei maleabile într'un cuptor electric, unde atmosfera oxidantă este neînsemnată.

Dreapta *AB* corespunde duratei operaţiei la temperatura maximă, în urma căreia cementita se descompune complect (prima etapă de grafitizare), iar structura prezintă grafit şi austenită (soluţie solidă). Câteodată durata procesului este mică şi din această cauză cementita

nu se descompune complect (se formează numai centre de grafitizare). Dacă prima menţinere (dreapta AB) a fost mică, viteza de răcire trebue să fie neînsemnată pentru a asigura descompunerea cementitei.

Menţinerea lângă punctul Ar_1 se face în scopul descompunerii perlitei şi formării carbonului de recoacere şi feritei (a doua etapă de gratifizare, dreapta CD). Această menţinere se face sau la temperatura punctului Ar_1 sau ceva mai jos. A doua etapă de grafitizare se poate realiza prin răcire înceată trecând prin punctul critic. In ultimul caz, se obţin rezultate mai bune în ceeace priveşte viteza de grafitizare.

Dacă fontele se grafitizează uşor (de exemplu fontele cu conţinut mare de siliciu), procesul grafitizării poate fi executat mai repede.

Recoacerea fontei maleabile se poate accelera şi prin călirea iniţială a pieselor turnate din fontă albă. Călirea fontei favorizează creşterea numărului de centre, lângă care, în urma recoacerii, se va separa grafitul. Călirea iniţială accelerează procesul de câteva ori şi înafară de aceasta, favorizând micşorarea granulelor de grafit, măreşte proprietăţile mecanice ale fontei.

Călirea în ulei accelerează procesul recoacerii de 3 ... 4 ori, iar răcirea la aer de $1^1/_2$ ... 2 ori. In cazul pieselor turnate cu pereţi subţir răcirea la aer dă aceleaşi rezultate ca şi călirea în ulei. Acest procedeu a fost elaborat de A. D. Assonov, V. N. Preadilov şi alţii. El se aplică în multe uzine pentru piesele turnate, mici, de formă simplă. Piesele turnate se încălzesc la temperatura de 950 ... 970 °C, timp de 20 ... 40 minute şi se călesc în ulei sau în apă. Răcirea definitivă a cutiilor se face la aer. (Regimul recoacerii se dă în fig. 116, sub forma unei curbe). In urma acestui tratament se obţine fonta feritică.

Pentru obţinerea fontei perlitice, cu rezistenţa ridicată, durata de menţinere la temperatura de 720 ... 700 °C se scurtează, ceeace accelerează şi mai mult procesul.

Trebue amintite lucrările Institutului Industrial din Urali, care arată că adăugarea cuprului în fontă, în cantitate de 0,8%, accelerează prima etapă a grafitizării cu 50% şi a doua etapă, cu 40%. Cu creşterea conţinutului de cupru până la 1,7% a doua etapă se scurtează cu 65%. In fonte cu adaus de cupru, rezistenţa de rupere poate fi de 40 ... 45 kg/mm², alungirea de 10 ... 11%.

Pentru a micşora acţiunea nefavorabilă a sulfului, cantitatea de mangan trebue să întreacă de trei ori pe cea a sulfului.

CAPITOLUL XII

COROZIUNEA METALELOR ŞI LUPTA IMPOTRIVA EI

62. Aspectele coroziunii şi factorii care o influenţează

Distrugerea superficială a metalelor în urma proceselor chimice sau electrochimice, se numeşte coroziune.

Coroziunea constitue o mare pagubă întrucât se cheltuesc sume enorme pentru protejarea metalelor şi se depune o muncă uriaşă din cauza ruginirii diferitelor piese.

Inainte de începerea descrierii metalelor de protecţie împotriva coroziunii, este necesar să se expună pe scurt cauzele care o provoacă.

Coroziunea poate fi de natură chimică sau electrochimică. Toate felurile de coroziuni pot fi clasate în una din aceste două categorii.

Proprietatea metalului de a se coroda depinde de afinitatea dintre acel metal şi oxigen, şi se determină prin cantitatea de căldură desvoltată la formarea oxizilor. Cu cât această căldură este mai mare, cu atât se combină mai uşor metalul cu oxigenul.

Asupra metalelor acţionează oxigenul, bioxidul de carbon şi bioxidul de sulf, gaze care provoacă formarea combinaţiilor chimice la suprafaţa metalelor.

Creşterea temperaturii în mediul ambiant măreşte viteza de formare a acestor combinaţii, adică măreşte viteza coroziunii. Dat fiind că o mare parte din piese lucrează la temperaturi înalte, importanţa practică a acestei probleme este foarte mare. Deosebirea dintre coroziunea produsă la temperaturi înalte şi coroziunea care ia naştere în condiţii normale, constă în faptul că la temperaturi înalte viteza de difuzare a gazelor prin stratul superficial creşte, şi datorită acestui fapt se formează în scurt timp un strat gros de oxid de fier (ţunder).

Viteza gazelor nu influenţează aproape deloc coroziunea atât timp cât această viteză nu distruge stratul superficial printr'o acţionare mecanică.

Coroziunea creşte proporţional cu durata acţionării gazelor şi cu ridicarea temperaturii acestora; ea creşte în mod special odată cu schimbarea mediului înconjurător.

In prezent, cea mai adoptată teorie care explică procesul coroziunii este teoria electrochimică. La desvoltarea acestei teorii au contribuit în mare măsură savanţii sovietici G. A. Achimov, M. A. Izgarişev, A. I. Şultin şi alţii.

Această teorie se bazează pe fenomenele care au loc într'un element galvanic, adică pe proprietatea pe care o au metalele ca în contact cu lichidele să pună în libertate ioni încărcaţi pozitiv.

Electronii atomilor rămân pe metalul nedisolvat şi-l încarcă cu electricitate negativă. Cantitatea ionilor, puşi în libertate în electrolit, variază dela un metal la altul. Metalele nobile eliberează cantităţi minime de ioni. Proprietatea metalelor de a elibera ioni pozitivi şi de a se descompune la formarea cuplurilor galvanice, constitue cauza coroziunii electrochimice.

Forţa electromotrice, care caracterizează proprietatea ionilor de a trece în soluţie se numeşte potenţial normal. Asupra mărimii potenţialului influenţează natura electrolitului, precum şi durata contactului acestuia cu metalul. Schimbarea potenţialului după un timp oarecare se explică prin apariţia sau dispariţia peliculei de pe suprafaţa metalului.

Dacă se iau diferite metale şi se unesc unele cu altele fie direct, fie cu ajutorul unei sârme şi se cufundă într'o soluţie, fiecare metal va avea potenţialul său determinat. Când două metale legate între ele sunt cufundate într'o soluţie, se formează cupluri galvanice; în acest caz metalul cu potenţialul negativ se descompune, în timp ce al doilea metal rămâne intact.

Neomogenitatea structurii care contribue la naşterea unui număr mare de cupluri galvanice grăbeşte coroziunea.

Astfel, aşa numita microcoroziune este provocată de structura neomogenă a aliajelor. Ca exemplu de microcoroziune se poate cita atacarea feritei în prezenţa cementitei.

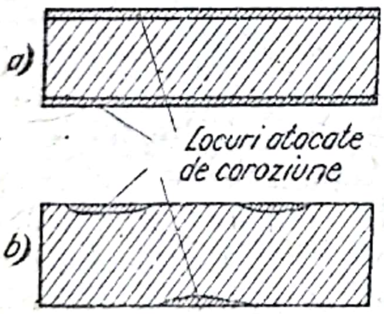


Fig. 117. Aspecte de coroziune: *a)* generală, *b)* locală.

Deşi coroziunea chimică este însoţită deobicei de o acţionare a cuplurilor galvanice, totuşi în unele cazuri descompunerea are loc în urma reacţiilor chimice. Ne poate servi ca exemplu oxidarea metalelor în gazele de furnal, în aerul uscat, etc.

Coroziunea de pe suprafaţa metalelor poate să apară sub diferite forme:

1. Sub forma de descompunere totală pe corpul şi marginile granulelor, putând fi însă localizată, adică apărând într'un singur loc (fig. 117 *a*);

2. Sub formă liniară sau sub formă de puncte (fig. 117 *b*);

3. Sub formă de coroziune intercristalină (fig. 118). Acest fel de coroziune poate fi observat la oţelurile inoxidabile (de tip E. J. 1) după o încălzire până la 500...900 °C, la aliajele uşoare din aluminiu, la alamă ecruisată ţinută la aer, cum şi în cazul acţionării soluţiilor alcaline asupra oţelului, şi a apei de mare asupra alamei. Coroziunea intercristalină pătrunde deobicei în interiorul metalului pe marginile granulelor. In cazul unei asemenea coroziuni me-

talul îşi păstrează aspectul exterior normal în timp ce proprietăţile lui mecanice pot fi reduse foarte mult.

Cauzele care dau naştere acestui fel de coroziune nu au fost stabilite. Se crede că aceasta se produce din cauza prezenţei pe marginile granulelor a diferitelor incluziuni de sgură de altă natură decât metalul de bază, ceeace în anumite condiţii înlesneşte producerea cuplurilor galvanice şi a măcinărilor pronunţate.

Tensiunile interne şi deformarea metalului micşorează rezistenţa lui la coroziune. In acest caz se produce un fel foarte periculos de coroziune (coroziunea intercristalină). Suprafaţa piesei are o influenţă hotărîtoare asupra vitezei de coroziune. Cu cât această suprafaţă este mai curată, cu atât este mai rezistentă la coroziune.

Influenţa prelucrării mecanice, care poate fi considerată ca o anumită stare de deformare, se manifestă în mod diferit la metale şi depinde de anumite condiţii exterioare.

Prelucrarea mecanică fină (de exemplu polisarea) contribue la mărirea rezistenţei chimice a oţelurilor.

In unele cazuri, existenţa unui strat de oxid la suprafaţa metalului contribue la o rezistenţă mai mare a acestuia împotriva coroziunii. De exemplu, aluminiul se acoperă foarte repede cu un asemenea strat, care îl protejează contra adâncirii coroziunii.

Proprietatea stratului de oxid de a proteja metalul contra coroziunii, depinde îndeosebi de starea lui fizică.

Pentru o bună protejare împotriva atacării, stratul de oxid trebue să se întindă uniform pe toată suprafaţa piesei.

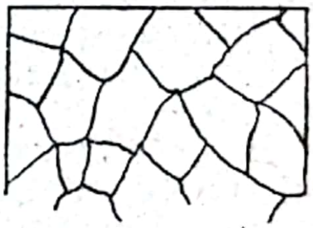


Fig. 118. Coroziunea intercristalină.

Dacă stratul are o grosime prea mare, în el se pot produce crăpături, ceeace reduce mult puterea lui de protejare. Asupra acestei proprietăţi de protejare are o puternică influenţă starea iniţială a suprafeţei metalului. Rezistenţa la coroziune a suprafeţei polizate se explică întrucâtva prin faptul că se formează un strat de protecţie pe întreaga suprafaţă.

Prelucrarea chimică a suprafeţelor metalelor măreşte uneori rezistenţa lor la coroziune, iar alteori o diminuează. In primul caz se formează straturi de protecţie (de exemplu pasivizare, oxidare), în al doilea caz straturile formate anterior sunt atacate (activarea suprafeţei).

De exemplu, îndepărtarea ţunderului, provenit la tratamentul termic, creează condiţii favorabile corodării. Numărul contactelor la suprafaţă creşte sub influenţa acţiunii acizilor, deoarece se produce o disolvare a componenţilor ceeace dă naştere la o creştere a microcuplurilor.

Compoziţia chimică a aliajelor şi structura lor influenţează mult coroziunea. Metalele pure cu o structură omogenă sunt mai puţin ameninţate de coroziune decât aliajele.

Incluziunile de sgură sau de altă natură măresc coroziunea.

Adausurile care formează cu metalul de bază soluţii solide, măresc rezistenţa metalului la coroziune. Aceasta se observă mai ales când adausurile au proprietatea de a forma straturi de protecţie.

Din acest punct de vedere cele mai bune rezultate se obţin cu adausuri de crom sau de nichel.

Structura neomogenă provoacă un mare număr de micropori şi formează straturi cu diferite proprietăţi, ceeace duce la ruperea lor în locurile mai puţin rezistente.

63. Metodele de protejarea metalelor împotriva coroziunii

Metalele pot fi protejate împotriva coroziunii prin următoarele metode: prin acoperire, prin procedeul elctrochimic şi prin prelucrarea mediului coroziv.

Protejarea prin acoperire. Acoperirea metalelor poate fi obţinută pe cale chimică, electrochimică şi prin difuziune mecanică.

Procedeul chimic de acoperire poate fi realizat cu sau fără curent electric. El constă în formarea pe suprafaţa metalului a unui strat de oxid care protejează restul metalului de coroziune. Exemple de metode de acoperire sunt: oxidarea, pasivizarea şi fosfatarea.

Din această metodă de acoperire face parte şi brunarea, care constă în formarea peliculei de oxid prin încălzire.

Procedeul electrolitic de acoperire constă în depunerea pe suprafaţa metalului a unui strat rezistent la coroziune. Din această metodă fac parte operaţiunile de cromare, de zincare, de arămire etc.

Acoperirea metalelor pe cale mecanică poate fie efectuată la cald sau la rece.

Exemple de acoperire la cald se pot cita: metalizarea, cositorirea şi zincarea. Procedeul constă în topirea metalului de protecţie şi în acoperirea suprafeţei metalului de protejat cu un strat subţire şi uniform. Acoperirea metalelor cu vopsele, cu lacuri, cu răşini, cu emailuri, etc., face parte din procedeul de acoperire la rece. Acest procedeu se aplică metalelor pentru a le proteja contra coroziunii provocate de apa de mare, de aerul umed şi de gazele atmosferice. In fiecare din aceste cazuri este necesar să se stabilească în prealabil care din acoperiri este mai potrivită condiţiilor impuse. Acoperirile trebue să fie inerte faţă de metal, adică ele nu trebue să provoace la rândul lor coroziunea.

Prezenţa porilor şi a porţiunilor descoperite în stratul de protecţie (obţinut prin vopsire, lăcuire, emailare, etc.) intensifică de cele mai multe ori efectul coroziunii.

Vopselele de ulei se fabrică cu: oxid de zinc, grafit, miniu de plumb şi de fier, etc. Pentru a grăbi uscarea vopselelor se adaugă în compoziţia lor săruri de mangan sau de plumb.

La acoperiri prin difuziune, metalul de protecţie pătrunde la o temperatură înaltă în metalul de protejat, formând la suprafaţa acestuia din urmă un strat rezistent la coroziune. O asemenea acoperire este de exemplu alitarea şi saturarea superficială a produsului cu alte metale.

Acoperirea prin difuziune mecanică are loc la prepararea bimetalelor.

Datorită contactului strâns între două metale şi datorită presiunilor mari, obţinute la temperaturi înalte, se produce pătrunderea reciprocă între metale, ceeace asigură o etanşeitate durabilă între straturi.

Acoperirea cu metale se utilizează foarte mult în industrie, de exemplu: cositorirea, alămirea, cromarea, etc.

Pasivizarea. Dacă metalul nu se corodează, se zice că el este pasiv în mediul respectiv. Pasivitatea metalelor poate fi provocată în mod artificial prin tratarea prealabilă a suprafeţei lor cu acizi.

Sub acţiunea unui astfel de tratament se formează pe suprafaţa metalului o peliculă de oxid sau de sare (a metalului), care protejează metalul de corodare. Pasivizarea pieselor de oţel se face cu ajutorul acidului azotic; în ultimul timp s'a constatat că acidul cromic dă rezultate mai bune. In cazul pasivizării cu acid azotic, piesele se cufundă în acid timp de 30 secunde, apoi se spală într'o soluţie de 10% sodă şi în petrol. In cazul pasivizării cu acid cromic, piesele, după ce se şlefuesc în prealabil, se cufundă timp de 25...30 de minute într'o soluţie de acid cromic de 30% concentraţie, încălzită la 50...60 °C, după aceea piesele se spală în două băi de apă rece şi apoi se cufundă pentru 3 minute într'o soluţie fierbinte de 3...5% hidrat de sodiu. Eliminarea hidratului se obţine prin spălarea pieselor în apă rece şi apoi în apă caldă.

După uscare piesele se gresează la o temperatură de 120...130 °C.

Acidul cromic este foarte vătămător. El atacă pielea şi îmbrăcămintea, deaceea se cere o mare atenţie în timpul lucrărilor.

Oxidarea. Această operaţiune este asemănătoare celei de pasivizare şi constă în formarea la suprafaţa pieselor metalice a unui strat de oxid prin tratarea suprafeţelor cu diferiţi reactivi.

Oxidarea poate fi acidă sau alcalină. In cazul oxidării acide se utilizează acidul azotic şi acidul clorhidric iar la oxidări alcaline se lucrează cu hidraţi alcalini şi cu materii oxidante. Cea mai răspândită oxidare este cea alcalină. Se ţine însă cont de faptul că piesele de aluminiu, cum şi lipiturile făcute cu cositor, sunt atacate de soluţiile alcaline.

Baia alcalină se prepară astfel: la fiecare litru de apă se pun în baie 550 g hidrat de sodiu, 200 g azotat acid de sodiu şi 2 g sare de bucătărie. Oxidarea se face la temperatura de 135...150 °C, timp de 2½ ore. Piesele se curăţă în prealabil de ţunder, de rugină şi de pete de grăsime. După oxidare, piesele se gresează în mod obligatoriu.

Fosfatarea. Metoda de protejarea oţelului contra ruginii cu ajutorul fosfatării a fost elaborată de curând. Totuşi ea este foarte mult utilizată în industrie, datorită simplicităţii şi ieftinătăţii ei.

Inainte de fosfatare, piesele trebue să fie pregătite în mod corespunzător, întrucât neglijarea unei pregătiri temeinice duce la formarea petelor. Suprafaţa pieselor trebue să fie bine curăţită de rugină şi de pete de grăsime. Curăţirea poate fi făcută pe cale chimică sau mecanică.

In cazul curăţirii pe cale chimică, piesele se degresează în soluţii alcaline, iar pentru îndepărtarea oxizilor se cufundă în soluţie de acid sulfuric, clorhidric sau de acid fosforic.

Curăţirea chimică a suprafeţelor prezintă un mare desavantaj prin faptul că piesele fosfatate diferă între ele atât ca aspect exterior, cât şi ca rezistenţă la coroziune.

Neajunsurile arătate mai sus pot fi evitate uşor prin utilizarea curăţirii pieselor pe cale mecanică. In acest scop suprafeţele pieselor se curăţă cu ajutorul aparatului pentru curăţire prin suflarea cu nisip fin de cuarţ cu o presiune de 3...4 at. După suflarea cu nisip, piesele capătă o suprafaţă mată care se fosfatează foarte bine.

Este bine ca la curăţirea pieselor să se utilizeze metoda combinată.

Pentru fosfatare se utilizează săruri speciale.

Fosfatarea decurge în felul următor: se prepară o baie, care la fiecare litru de apă conţine 27...30 g de substanţe fosfatante. Se fierbe baia 5...10 minute, apoi se lasă să se depună toate produsele hidrolizei, după care începe operaţiunea de fosfatare la o temperatură a băii de 96...98 °C.

Piesele introduse într'un coş sau pe vergele se cufundă în baie. La început se formează fosfaţi cu degajare de hidrogen, care continuă până când oţelul vine în contact cu soluţia.

Datorită acţiunii acidului fosforic asupra suprafeţelor pieselor, se formează o peliculă rezistentă de fosfat, de culoare cenuşie-închisă.

Acţiunea acidului încetează imediat ce la suprafaţa pieselor apare această peliculă. Cu toate că pelicula de fosfat se formează după 40...45 min piesele se menţin în baie timp de 60...90 min.

Intr'un asemenea regim de lucru grosimea peliculei de fosfat ajunge la 0,005...0,007 mm.

După fosfatare, piesele se spală şi se acoperă cu un lac special, care se aplică pe suprafeţele fosfatate cu multă uşurinţă şi rămâne bine aderat.

Pentru a grăbi fosfatarea se recomandă adăugirea sărurilor de cupru, ceeace permite reducerea timpului de lucru până la 10...12 min.

Oţelurile aliate şi în special cele care conţin un procent mare de crom şi de nichel se fosfatează foarte rău. Piesele din fontă pot fi fosfatate, însă se recomandă ca în prealabil să fie decapate cu acid fluorhidric.

Trebue menţionat că fosfatarea nu protejează bine piesele care vin în contact cu apa.

Pelicula de fosfat se dizolvă cu uşurinţă în acizi organici şi minerali. Gazele SO_2, Cl_2, NO_2 şi altele care se formează şi emană din lichidul acidului, au o acţiune distructivă asupra peliculei de fosfat.

Brunarea. Principiul brunării constă în încălzirea pieselor la 400...500 °C, care duce la obţinerea pe suprafaţa lor a unei pelicule subţiri de oxid de fier. Această peliculă protejează relativ bine piesele contra coroziunii.

Inainte de brunare, piesele se şlefuesc, se încarcă în cutii împreună cu o cantitate de cărbuni şi se încălzesc până la 450···500 °C, timp de 5···6 min, până ce apare o peliculă uniformă de culoare închisă de oxid. Cărbunele are rolul de a proteja metalul contra unei oxidări prea mari. După prima încălzire, piesele se ung cu ţiţei sau cu păcură şi se încălzesc din nou în acelaşi cărbune timp de 10···15 min, după care se udă cu apă.

Neajunsul acestui procedeu de protecţie contra coroziunii constă în faptul că piesele trebue încălzite. Deaceea ele îşi pierd rezistenţa la frecare şi nu pot lucra decât la o temperatură maxim de 400···500 °C.

Protejarea metalelor. Pornind dela importanţa potenţialelor, se pot alege aşa numiţii protectori care se introduc în sistemul dat, fără a-l îngreuia. Aceasta se face pentru a proteja metalele de bază de corodare. Desigur pentru fiecare sistem trebue ales protectorul în aşa fel, încât corodarea lui să nu se producă prea repede. Totodată trebue să se prevadă că diferenţa prea mare între potenţiale produce o corodare mai rapidă. De exemplu, pentru cupluri cupru-duraluminiu, cupru-oţel, se utilizează ca protector zincul. La alegerea protectorului se ţine seama de mediul în care vor lucra metalele; deobicei determinarea potenţialului şi în consecinţă alegerea protectorului se face pe bază de experienţă.

Incă în anul 1825 s'a propus protejarea tablelor de alamă şi de aramă contra acţiunii apei de mare, prin fixarea pe ele a zincului (ca protector). In urma acestei combinări de metale, zincul se distruge treptat, iar piesele de alamă sau de aramă rămân nevătămate. Toate acoperirile cu metale pot fi clasate, după caracterul protecţiei, în acoperiri anodice şi catodice. Cele anodice protejează metalul nu numai datorită izolării acestuia de mediul înconjurător, dar şi prin aceea că în cuplul format stratul de acoperire devine anodic şi deci sub acţiunea electrolitului şi a curentului electric se deteriorează, protejând astfel de distrugere suprafaţa metalului.

In cazul protejării metalelor, coroziunea trece asupra metalului protector, care încetul cu încetul se distruge. El poate fi înlocuit din nou. Această protejare se utilizează în cazul pieselor care lucrează în apă de mare sau la cilindrii maşinilor cu ardere internă, etc.

In cazul acoperirilor anodice pe toată suprafaţa, porii şi crăpăturile nu sunt periculoase, întrucât porţiunile vecine ale protectorului vor apăra metalul de distrugere. Ca exemplu de o astfel de protejare poate servi cea a oţelului moale protejat cu zinc. Dacă pe suprafaţa oţelului zincat se face o sgârietură, oţelul nu va rugini.

Acoperirile catodice protejează metalul numai cu condiţia păstrării peliculei pe toată suprafaţa.

Descoperirea metalului poate duce la o coroziune rapidă întrucât în acest caz metalul protector va avea rolul catodului şi deci va ajuta coroziunii. De exemplu, nichelul, cuprul şi cositorul vor forma cupluri galvanice în care fierul este anodul. Dintre acoperirile catodice ale oţelului, cromarea este aceea care se utilizează în cea mai mare măsură. Stratul de crom protejează foarte bine contra coroziunii, în cazul când acoperirea este uniformă pe toată suprafaţa. Prezenţa crăpăturilor sau a porilor cât de mici scade considerabil rezistenţa la coroziune a pieselor cromate. S'a observat că acoperirile electrolitice (cromarea, nichelarea, etc.) reduc rezistenţa metalelor la încercarea lor în aer, prin încercări cu sens variabil (rezistenţa la oboseală).

După unele date această coborîre ajunge până la 30%, ceeace se explică prin formarea crăpăturilor în straturile de protecţie, crăpături care contribue la distrugerea metalului de bază.

Prelucrarea mediului coroziv. In unele cazuri putem acţiona asupra mediului coroziv, pentru a micşora acţiunea lui distructivă asupra metalului de bază.

De exemplu, prin eliminarea gazelor din apă putem reduce considerabil acţiunea ei corozivă. Agitarea apei contribue la eliminarea gazelor, întrucât în acest caz bulele mici de gaze se combină între ele şi se ridică cu uşurinţă la suprafaţă.

Filtrând apa prin strungituri de fier se poate elimina oxigenul şi această apă poate circula într'un sistem închis fără a provoca coroziunea.

Acţiunea corozivă a mediului poate fi micşorată prin introducerea în el a anumitor substanţe, de exemplu 0,5% bicromat (în cazul răcirii cu apă a motoarelor de avione).

De aici

VIII

CAPITOLUL XIII

8.1 ALIAJELE NEFEROASE

8.1.1. Din categoria metalelor neferoase fac parte: arama (cuprul), aluminiul, plumbul, magneziul, nichelul, cositorul, zincul, antimoniul, bismutul şi altele. Metalele neferoase sunt scumpe, deaceea se tinde la înlocuirea lor cu metale feroase (oţel, fontă). Dintre metalele neferoase, ale căror aliaje şi-au găsit întrebuinţare pe scară întinsă, cel mai preţuit în tehnică este cositorul; acestuia îi urmează: nichelul,

cuprul (arama) magneziul, aluminiul, zincul, plumbul. Cositorul este metalul industrial a cărui producţie nu face faţă necesităţilor (deficitar). Metalele de felul cadmiului, antimoniului, bismutului, beriliului, natriului, etc., sunt folosite numai ca materiale de aliere. Antimoniul este folosit deasemenea pentru aliaje metalice de tipografie.

64. Compoziţia şi proprietăţile metalelor şi aliajelor

Cuprul. Deşi cuprul pur se găseşte în stare nativă, extracţia lui se face în special din minereu. In funcţie de felul de extracţie, cuprul conţine o cantitate mai mare sau mai mică de corpuri străine (tabela 35).

Tabela 35

Compoziţia chimică a cuprului (GOST 859-41)

Categoria cuprului	Cupru minimum	Bismut maximum	Antimoniu maximum	Total corpuri străine maximum
M0	99,95	0,002	0,002	0,05
M1	99,90	0,002	0,002	0,1
M2	99,70	0,002	0,005	0,3
M3	99,50	0,003	0,05	0,5
M4	99,0	0,005	0,2	1,0

Cuprul tip M0 este folosit pentru lucrări electrotehnice (conductori, bare) şi pentru garnituri.

Cuprul tip M1 este folosit pentru prepararea aliajelor, al căror conţinut de cupru depăşeşte 67%.

Cuprul tip M2 este folosit pentru aliajele, al căror conţinut de cupru este de 60···67 %, cum şi pentru piese fabricate (tuburi cilindrice, capace cilindrice nesolicitate, piese care lucrează la temperaturi ridicate).

Cuprul tip M3 — pentru fabricarea aliajelor al căror conţinut este sub 60% cupru.

Cuprul tip M4 — pentru confecţionarea pieselor turnate de mică importanţă.

Tablele şi benzile de cupru sunt confecţionate din cupru tip M1, M2 şi M3.

Cuprul pur (de culoare roz-roşiatică) posedă proprietăţi importante de conductibilitate termică şi electrică. Este în special folosit în electrotehnică pentru confecţionarea conductorilor electrici, şinelor de contact, iar în termotehnică pentru construirea aparatelor de încălzire şi de răcire. Paralel cu aceasta, datorită proprietăţilor sale anticorozive, el este folosit pe scară întinsă la confecţionarea aparatelor chimice.

Datorită plasticităţii sale mari şi gradului ridicat de tenacitate, cuprul se prelucrează greu la maşini unelte. Pentru modificarea acestor proprietăţi este necesară forjarea lui la rece.

Din punct de vedere al uzurii la frecare, cuprul nu prezintă mare rezistenţă. Se sudează bine şi se lipeşte uşor. La temperatura obişnuită şi în lipsa bioxidului de carbon (CO_2), suprafaţa cuprului nu se schimbă nici în mediu uscat nici în mediu umed. In caz de încălzire la temperatura de peste 185 °C se produce oxidarea, care se manifestă la început prin formarea coclelii (protoxid de cupru) (Cu_2O), iar în cazul încălzirii în continuare se formează oxid de cupru (CuO).

La încălzirea cuprului în soluţie de acid azotic (HNO_3), cuprul se disolvă degajând oxid de azot (NO), iar la încălzirea în acid sulfuric (H_2SO_4) degajând bioxid de sulf (SO_2). Amoniacul şi apa de mare dizolvă cuprul. Acidul clorhidric atacă cuprul numai la temperatura de fierbere.

Deşi cuprul curat posedă proprietăţi maxime de conductibilitate electrică, proprietăţile lui elastice sunt inferioare. Pentru fabricarea cablurilor suspendate (conductori suspendaţi), cuprul curat se combină cu o cantitate mică de corpuri străine, care reducând în mică măsură proprietatea lui de conductibilitate electrică, îi imprimă rezistenţă. De pildă, 1% cadmiu sporeşte rezistenţa de rupere a cuprului cu 300% reducând proprietăţile de conductibilitate electrică cu 20%.

Plasticitatea cuprului scade cu creşterea temperaturii. In preajma punctului de topire cuprul devine atât de fragil încât se pulverizează foarte uşor.

In stare topită cuprul absoarbe importante cantităţi de gaze care, degajându-se în timpul răcirii, formează goluri. Datorită acestui fapt piesele din cupru turnat au cantităţi importante de goluri şi sunt folosite în industrie numai în cazuri excepţionale (de pildă la turnarea pieselor fasonate, care trebue să posede proprietăţi ridicate de conductibilitate electrică).

Prelucrarea cuprului la rece prin laminare îi măreşte rezistenţa de rupere şi limita de elasticitate, însă îi reduce alungirea. Prin această prelucrare duritatea cuprului se poate ridica dela 45 până la 90...100 (H_B).

Proprietăţile cuprului, obţinute prin ecruisarea la rece se pot modifica prin încălzirea lui timp de 1...2 ore la temperatura de 560...750 °C. Sub influenţa acestei încălziri granulele de cupru capătă forma echiaxială, însă nu reuşesc să atingă dimensiuni mari. Schimbarea rezistenţei de rupere şi alungirii sârmei de cupru în funcţie de temperatura de încălzire, se arată în figura 119 (Ciohralski). Temperatura de recoacere a cuprului în table, este în funcţie de grosimea acestora.

Grosimea tablei în mm	Temperatura de recoacere în °C
sub 0,5	500—600
0,5— 1,0	600—650
1,0— 4,0	650—700
4,0—10,0	700—750

Alama. Aliajele de cupru cu zinc poartă denumirea de alamă. Din punct de vedere tehnic prezintă interes numai aliajele care conţin în compoziţia lor până la 50% zinc, fiindcă mărirea cantităţii de zinc în astfel de aliaje contribue la sporirea gradului de duritate făcându-le casante. Costul alamei este mai mic decât al cuprului. Alama posedă proprietăţi mai pronunţate de stabilitate la coroziune (proprietăţi anticorosive), cum şi proprietăţi mecanice superioare.

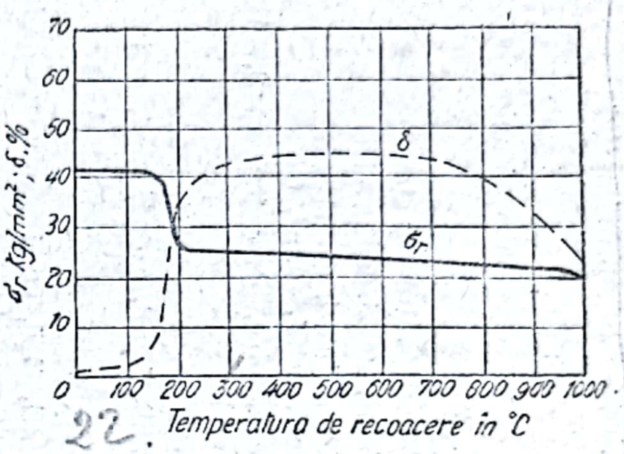


Fig. 119. Influenţa temperaturii de încălzire asupra rezistenţei şi alungirii sârmei de cupru, trefilată la rece (Ciohralski).

In figura 120 se arată variaţia proprietăţilor mecanice ale aliajelor în funcţie de conţinutul de zinc care intră în compoziţia lor.

După cum arată curbele, alungirea şi rezistenţa de rupere sunt la început în creştere, iar după aceea în scădere. Alungirea maximă o au aliajele care conţin între 28...32% zinc, iar rezistenţa maximă, aliajele cu 40...45% zinc. In tabelele 36 şi 37 se dă compoziţia chimică şi destinaţia aproximativă a alamelor, laminate şi turnate.

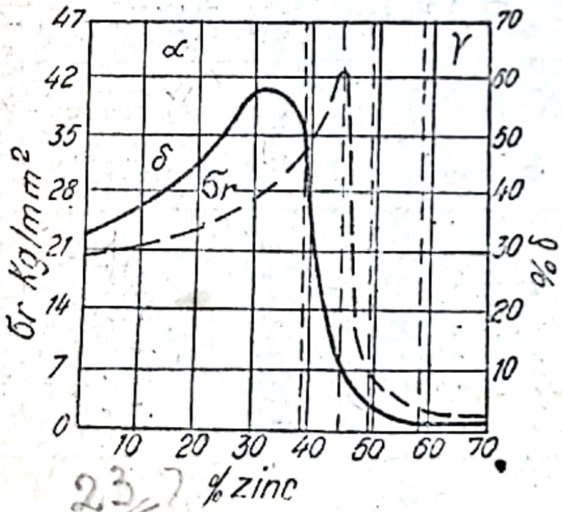


Fig. 120. Influenţa zincului asupra proprietăţilor mecanice ale alamei.

Alama care conţine cantităţi mai mari de cupru între 88 şi 97%) poartă denumirea de tombac (LT 90, LT 95). Tombacurile se ştanţează uşor la rece, şi au o culoare aurie foarte frumoasă. Ele sunt folosite pentru placare (acoperirea celorlalte metale în vederea prevenirii corodării acestora).

Denumirea calităţilor de alamă s'a făcut după următorul principiu: prima literă L[1]) însemnează alama, litera T însemnează tombac. Literele următoare arată elementele care se găsesc în compoziţia alamei. Cifrele arată elementele, care se găsesc în compoziţia alamei

---

[1]) L vine dela cuvântul latun=alamă
J vine dela jeleza=fier
S vine dela svineţ=plumb

Tabela 3

Calitățile alamelor care se prelucrează prin laminare și destinația lor aproximativă

Denumirea	Calitatea	Conținutul de cupru în %	Conținutul din celelalte elemente în % (zinc — etc.)	Conținutul de adausuri %	Destinația aproximativă
Tombac	LT 96	95—97	—	0,3	Tuburi pentru radiatoare
Tombac	LT 90	88—91	—	0,3	Table, benzi pentru nivel
Semi tombac	L 80	78—81	—	0,3	Table, benzi, sârmă
Alamă	L 68	67—70	—	0,3	Țevi, benzi, sârmă, table
Alamă	L 62	60,5—63,5	—	0,7	Fâșii, table, benzi, țevi, vergi, sârmă
B. Alamă	LS 51-1	50—53	0,7—1,3 Pb	1,0	Vergi
Alamă cu plumb	LS 59-18	57—61	0,8—1,9 Pb	2,0	Vergi trase, presate, laminate
Alamă cu plumb	LS 59-1	57—60	0,8—1,9 Pb	0,75	Table, benzi, sârmă, vergi, țevi
Alamă cu plumb (destinație specială) . . .	LS 60-1	59—61	0,6—1,0 Pb	0,5	Vergi
Alamă cu plumb . . .	LS 64-2	63—66	1,5—2,0 Pb	0,8	Benzi, fâșii, vergi pentru ceasornicărie
Alamă cu staniu	LO 62-1	61—63	0,7—1,15 Sn	0,3	Table, vergi
Alamă cu staniu . . .	LO 70-1	69—71	1,0—1,5 Sn	0,1	Țevi presate
Alamă cu aluminiu . .	LA 772	76—79	1,75—2,5 Al	0,3	Țevi pentru condensatoare
Alamă cu aluminiu și nichel	LAN 59-3-2	57—60	2,5—3,5 Al 2—3 Ni	0,9	Țevi, vergi
Alamă cu nichel	LN 65-5	64—67	5—6,5 Ni	0,3	Țevi pentru manometre, țevi de condensator, benzi de antifricțiune, rețele
Alamă cu fier și mangan	LJMȚ-59-1-1	57—60	0,6—1,2 Fe 0,5—0,8 Mn 0,1—0,2 Al 0,3—0,7 Sn	0,2	Table, vergi, sârmă, țevi
Alamă cu mangan . . .	LMȚ 58-2	57—60	1,0—2,0 Mn	1,5	Țevi, tablă, sârmă
Alamă cu fier și plumb	LJS 58-1-1	57—60			Vergi
Alamă cu siliciu	LK 80-3	79—81	1,5—4,5 Si		Piese forjate brut și piese ștanțate
Alamă cu mangan și aluminiu	LMȚA 57-3-1	55—58,5	2,5—3,5 Mn 0,5—1,5 Al		Piese forjate brut

Tabela 37

Compoziția chimică și destinația aproximativă a alamelor de turnătorie

Denumirea	Calitatea	Conținutul de cupru %	Conținutul din celelalte elemente (Zn. etc.) %	Conținutul de adausuri %	Destinația aproximativă
Alamă de aluminiu	LA 67-2,5	66—68	2—3 Al	3,4	Piese rezistente la coroziune în construcții navale și piese de mașini
Alamă alumino-fero-manganică	LAJM 70-6-3-2	68—72	5—6 Al 2,5—3,5 Fe 0,5—1,5 Mn		Piulițe de strâns șuruburile melc masive, care lucrează în condiții grele
Alamă silicioasă	LK 80-3	79—81	1,5 – 4,5 Si	2,8	Armături, roți dințate, piese pentru vase
Alamă siliciu-plumb . . .	LKS 80-3-3	79—81	1,5 – 4,5 Si 1,0 – 4,5 Pb	2,0	Lagăre și bucele
Alamă mangan-plumb . . .	LMȚS 58-2-2	57—60	1,5—2,5 Mn 1,5—2,5 Pb	3,4	Paliere, bucele și alte piese de antifricțiune
Alamă mangan-staniu-plumb	LMȚOS 58-2-2-2	56—60	1,5—3,0 Mn 0,5—3,0 Sn 0,5—2,5 Pb	1,2	Roți dințate
Alamă mangan-fier	LMȚJ 55-4-1	53—58	3,0—4,0 Mn 0,5—1,5 Fe	3,2	Piese masive pentru construcții maritime
Alamă mangan-fier	LMȚJ 52-4-1	50—54	3,0 - 4,5 Mn 0,5—1,5 Fe		Piese de auto, lagăre fără importanță
Alamă mangan-nichel-fier .	LMȚJ 52-2-2-1	50—54	1,5—2,5 Mn 1,5—2,5 Ni 0,5—1,5 Fe	3,6	Piese masive cu destinație specială turnate în serie pentru construcții de nave
Alamă staniu-plumb	LOS 65-1-2	60—70	0,5—2,0 Sn 1,0—3,0 Pb	1,6	Armături pentru conducte de apă și de încălzire care lucrează sub presiune până la 10 atmosfere

în cantitate mijlocie. De pildă LJS-58-1-1 însemnează, că în compoziţia alamei intră 58% cupru, circa 1% fier şi circa 1% plumb.

Alama LT 96, LT 90, Lt 80, LT 68, LN 65-5 posedă importante proprietăţi plastice şi se prelucrează foarte bine prin presare nu numai la cald, dar şi la rece.

Alama L59, este dură şi se prelucrează la strung numai cu viteze reduse de tăiere.

Alama cu conţinut de plumb se prelucrează bine cu ajutorul sculelor. Proprietăţile acestor alame variază pe scară întinsă în funcţie de tratamentul lor termic. Combinând călirea cu recoacerea ulterioară, alamelor li se pot imprima importante proprietăţi mecanice. Alama LS 64-2 posedă proprietăţi perfecte de antificţiune.

Alama cu conţinut de cositor rezistă foarte bine la coroziunea apei de mare. Deseori această calitate de alamă poartă chiar denumirea de „alamă marină".

Alama fero-manganică LJMŢ 59-1-1 posedă bune proprietăţi mecanice, stabilitate la acţiunea de coroziune a apei de mare şi a aerului. Posedă deasemenea calităţi superioare de antifricţiune.

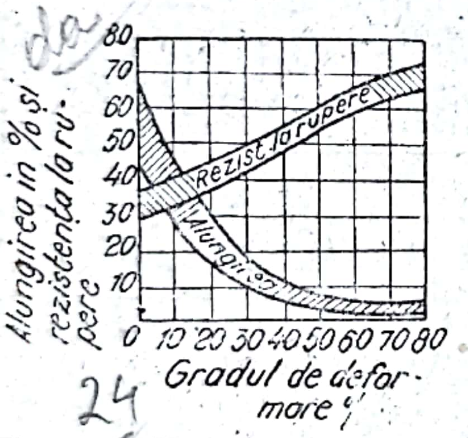


Fig. 121. Variaţia proprietăţilor mecanice ale alamei (L 62) în funcţie de gradul de deformare conform tabelelor uzinei „Crasnâi Câborjet".

Alama cu conţinut de aluminiu LAN 59-3-2 rezistă foarte bine la coroziune şi posedă calităţi mecanice superioare. La ridicarea temperaturii până la 300 °C calităţile ei scad în mod brusc. Ea este folosită pe scară întinsă în electrotehnică şi construcţii de maşini electrice.

Alamele cu mangan LMT 58-2, care rezistă la coroziune în apa mării şi în condiţiile atmosferice sunt folosite pe scară întinsă în construcţii de maşini, în industria automobilelor şi în industria electrotehnică.

Alama cu nichel LN 65-6 datorită proprietăţilor sale de antifricţiune, proprietăţilor mecanice, şi proprietăţilor anticorosive, este folosită în construcţii navale şi industria autotractoarelor.

Sub influenţa ecruisării la rece alama îşi schimbă foarte mult proprietăţile. In figura 121 se dau curbele care caracterizează variaţia rezistenţei de rupere şi alungirii alamei al cărei conţinut de cupru este de 62%.

In cazul când ecruisarea la rece este intensă, limita de elasticitate se apropie de rezistenţa de rupere, iar alungirea se apropie de zero.

Pentru a i se restabili plasticitatea, alama ecruisată, este supusă recoacerii la temperatura de 600 ... 700 °C. Sub influenţa recoacerii se produce fenomenul de recristalizare.

In cazurile când se cere reducerea tensiunilor interne cu menţinerea proprietăţilor mecanice, se va proceda la recoacerea alamei L 68 la 300 °C, iar a alamei L 60 la 250 °C.

Alamele sunt anticorosive în condiţiile atmosferice. Apa mării produce coroziunea care se extinde asupra periferiilor granulelor (fig. 118) (coroziunea intercristalină). La temperatura obişnuită acidul sulfuric şi acidul clorhidric atacă foarte slab aliajele de cupru-zinc. Aceste aliaje sunt distruse de: acidul azotic, amoniac, clorura de amoniu, leşii, oţet. Cu cât conţinutul de zinc va fi mai mare, cu atât coroziunea aliajelor va fi mai pronunţată.

Cuprul în combinaţie cu zincul formează o serie întreagă de aliaje, care diferă foarte mult unul de altul atât din punct de vedere chimic, cât şi din punct de vedere al proprietăţilor.

In condiţiile de fabricaţie, răcirea aliajelor după solidificarea lor se face atât de repede, încât difuziunea elementelor nu are timp să se producă complect, din care cauză aliajele îşi menţin structura neomogenă. Pentru a se obţine aliaje cu structură omogenă urmează ca după solidificare, răcirea lor să se facă foarte lent până la temperatura de 700 ... 650 °C sau să se recoacă aliajele timp de 3 ... 4 ore la temperatura de 650 °C.

Dacă după turnare alama este supusă încălzirii în vederea prelucrării la cald sau a ecruisării, cu încălzire ulterioară în vederea recristalizării, atunci aliajele capătă structura omogenă chiar fără recoacere specială.

Starea stabilă a alamei se poate obţine prin călire cu recoacere ulterioară. Călirea energică a alamei cu conţinutul de cupru de 62,5% la temperatura de 890 °C, îi va imprima structura neomogenă, iar recoacerea la 500 °C va contribui la formarea structurii omogene.

Culoarea aliajelor este în funcţie de conţinutul de cupru şi anume: aliajele vor avea culoare roşie atunci când conţin 90 ... 100% cupru; culoarea galben-roză când conţin 80 ... 85% cupru; galbenă deschisă când conţin 66 ... 72% cupru şi galbenă cu nuanţa roşiatică când în compoziţa lor există 57 ... 62% cupru.

Bronzurile. Aliajele de cositor (staniu) cu cupru poartă denumirea de bronzuri. In tabela 38 se arată compoziţia chimică a bronzurilor cu staniu, care sunt folosite în industria construcţiilor de maşini.

La denumirea calităţilor, după literele Br, care indică faptul că aliajul face parte din categoria bronzurilor, sunt aşezate litere şi cifre, care indică adausurile principale şi conţinutul lor mijlociu în compoziţia aliajului.

In comparaţie cu celelalte aliaje de cupru, bronzurile posedă următoarele proprietăţi. Ele sunt foarte rezistente, posedă proprietăţi bune de turnare, contracţie scăzută, sunt anticorosive şi au proprietăţi de

antifricţiune. Bronzurile se prelucrează uşor la strung. In figura 122 se dau curbele care caracterizează variaţiile de alungire, rezistenţa de rupere şi duritatea bronzurilor, în funcţie de cantitatea de cositor care intră în compoziţia lor.

Tabela 38

Compoziţia chimică a bronzurilor cu cositor, folosite în industria construcţiilor de maşini

Calitatea	Conţinutul de cositor în %	Conţinutul de celelalte elemente în %	Conţinutul de adausuri max. în %	Materialele de înlocuire (A. P. Smireaghin)
Br 010	9,0—11,0	—	1,0	Br A10, Br AJ9—4, LKS-80-3-3, LK 80-3,5, LMȚ 58—2—2, LS 59, LA 67—2
Br OȚ10—2	9,0—11,0	2,0—4,0 Zn	1,0	Idem
Br OȚ8—4	7,0—9,0	4,0—6,0 Zn	1,0	Alame speciale, aliaje pe bază de aluminiu, aliaje pe bază de zinc
Br OȚS6-6-3	5—7	5—7 Zn 2—4 Pb	0,5 1,0	idem
Br OȚ4—3	3,0—5,0	2,0—4,0 Zn	0,25 0,30	Br KMţ 3—1
Br OȚS4-4-25	3,0—5,0	3,0—5,0 Zn 1,5—3,5 Pb	0,1	Br A5, Br A7 Br KMţ 3—1, LN65—5 Br AJ9—4
Br OF6,5-0,4	6,0—7,0	0,3—0,4 P	0,05 0,3	Br AJN10—4—4 Br AJN11—6—6
Br OF10—1	9,0—11,0	0,8—1,2 P	0,75	Br Mţ S8—20
Br OS8—12	7,0—9,0	11,0—13,0 Pb	0,75	Idem şi BrS30 Br MţS5—25
Br OS7—17	6,0—8,0	15,0—19,0 Pb	0,8	Br MţS8—20
Br OS5—25	4,0—6,0	23,0—26,0 Pb	0,8	Idem şi Br ANJ10—4—4 BJ 9—4
Br OS10—10	9,0—11,0	9,0—11,0 Pb	0,75	BAJ Mţl—3—1,5
Br ONS11-4-3	10,0—12,0	4,0—Ni 3,0 Pb	0,75	

Intrucât difuzarea staniului şi a cuprului în bronzuri se desfăşoară foarte încet, bronzurile au structura dendritică ceeace contribue la importante variaţii ale proprietăţilor lor mecanice. Prin recoacere de lungă durată la temperatura de 800···900 °C se poate îndrepta struc-

tura dendritică a bronzurilor cu conţinut de 5⋯10% Sn. Pentru omogenizarea structurii se poate deasemenea recurge la încălzire de lungă durată (timp de 5⋯10 ore) la temperatura de 600⋯650 °C, urmată de răcirea aliajului într'o baie de apă.

Conţinutul maxim de staniu în compoziţia bronzurilor folosite în tehnică este de 20%. Dacă acest conţinut creşte, bronzurile devin casante, iar dacă atinge 30% staniu, se sparg la lovire ca sticla. Acest lucru se datoreşte formării de importante cantităţi de combinaţii chimice casante. La rece se pot prelucra perfect numai bronzurile care conţin în compoziţia lor maximum 8% staniu. După prelucrarea la rece se procedează la recoacerea lor la temperatura de 500⋯600 °C.

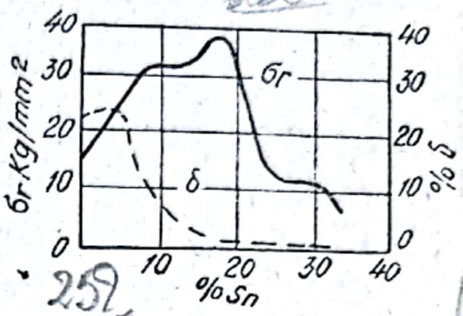


Fig. 122. Influenţa staniului asupra proprietăţilor mecanice ale bronzului.

In majoritatea cazurilor bronzurile sunt folosite pentru confecţionarea pieselor turnate. Piesele turnate care conţin până la 20% staniu, rezistă foarte bine la uzura prin frecare.

Proprietăţi superioare posedă bronzul cu beriliu, care este anticorosiv. El mai posedă şi proprietăţi mecanice foarte bune. Singurul neajuns al acestei calităţi de bronz este costul prea ridicat. Bronzul cu beriliu se poate prelucra şi la rece şi la cald. In stare iniţială acest bronz estu puţin dur (circa 100 H_B). După călire la temperatura de 750⋯800 °C în baie de ulei sau apă şi îmbătrânire timp de trei ore la temperatura de 350⋯400 °C, duritatea lui se ridică până la 400 H_B, iar rezistenţa de rupere a acestui bronz laminat atinge 150 kg/mm² cu o alungire de 2⋯3%. Dacă piesa turnată este supusă procedeului de îmbătrânire, atunci rezistenţa de rupere creşte până la 70⋯90 (kg/mm²). Prelucrarea mecanică a bronzului cu beriliu se face imediat după călire şi abia după aceasta se procedează la îmbătrânire.

Bronzul cu beriliu este folosit pentru confecţionarea resoartelor, pompelor, paletelor de turbină, aparatelor de măsură şi altor piese din domeniul construcţiilor de motoare, din electrotehnică şi din domeniul construcţiilor de avioane.

Bronzuri de înlocuire. Intrucât staniul este un material scump şi deseori greu de procurat, în industrie sunt adesea folosite bronzuri de înlocuire. M. P. Slavinschi s'a ocupat pe larg cu studiul aliajelor de înlocuire a bronzurilor şi a contribuit în mare măsură la introducerea în practica industrială a unei serii întregi de aliaje neferoase fără staniu în compoziţia lor. Tabela 38 cuprinde nomenclatura aliajelor de înlocuire a bronzului cu staniu. Bronzurile de aluminiu posedă proprietăţi mecanice superioare, mai ales în cazul sarcinilor dinamice şi sunt cele mai anticorosive în apa mării, în acid sulfuric,

clorhidric, fosforic, citric, acetic şi lactic, în mediul de gaze sulfuroase, precum şi în abur supraîncălzit. Acizii minerali distrug bronzul de aluminiu. In stare lustruită bronzul se poate păstra multă vreme. Bronzurile de aluminiu sunt superioare bronzurilor cu fosfor din punct de vedere al uzurii prin frecare.

Modificarea proprietăţilor mecanice ale bronzului de aluminiului în funcţie de conţinutul de aluminiu este arătată în figura 123.

Conţinutul maximal de aluminiu în bronzuri atinge 10%. Dacă se măreşte acest conţinut, bronzul devine prea casant. In industrie sunt folosite uzual bronzurile Br A-5 şi Br A-10. Bronzul Br A-5 se poate prelucra foarte bine atât la rece, cât şi la cald. Paralel cu gradul ridicat de rezistenţă, el posedă şi o mare tenacitate, permiţând fabricarea tablelor şi sârmelor foarte subţiri.

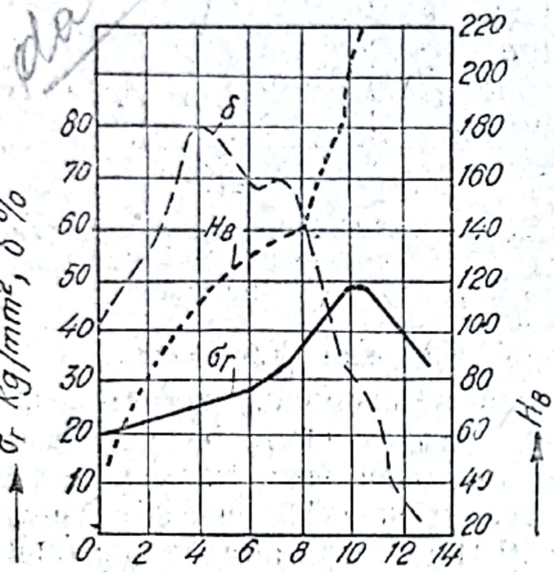


Fig. 123. Influenţa aluminiului asupra proprietăţilor mecanice ale bronzului.

Br A-10 se prelucrează la cald. El este folosit pentru confecţionarea ventilatoarelor, bucelelor şi lagărelor pentru motoare rapide cum şi a lagărelor pentru laminoare, pieselor diferite pentru pompe, aparatelor chimice, pieselor care sunt supuse unei puternice acţiuni de uzură prin frecare, ca roţi de fricţiune, segmenţilor de piston, angrenajelor de transmisii elicoidale, formelor în industria sticlei, etc. Posedând proprietăţi bune de curgere în stare lichidă, bronzul de aluminiu este folosit pe scară întinsă pentru turnarea pieselor fasonate. Acest bronz se poate căli şi reveni. Deseori bronzul de aluminiu este folosit după ce a fost călit în apă rece şi revenit la temperatura de 650 °C timp de 1···2 ore. In cazul acesta duritatea creşte până 270 (H_B).

Un important neajuns al bronzului Br A-10 este contracţia lui mare care este egală cu 2,3% (contracţia bronzului de aluminiu reprezintă 1,3···1,5%). Din categoria neajunsurilor bronzului de aluminiu fac parte scăderile relativ brusce ale rezistenţei de rupere la temperaturi ridicate (de pildă la temperatura de 20 °C, σ_r este egală cu 60 kg/mm², iar la 500 °C, σ_r = 19,2 kg/mm²), precum şi scăderea proprietăţii de antifricţiune.

Aplicare pe scară întinsă şi-a găsit bronzul cu aluminiu şi mangan, care conţine circa 2% mangan şi 9% aluminiu (Br AMŢ 9—2). Manganul sporeşte rezistenţa de rupere, sporeşte proprietăţile anticorozive, şi înlătură fragilitatea bronzurilor de aluminiu, în cazul răcirii lente.

Bronzul Br AMŢ 9—2 este folosit pentru confecţionarea armăturii de aburi, roţilor elicoidale, cuzineţilor pentru paliere, coroanelor dinţate, etc. Rezistenţa bronzului Br AMŢ 9—2 în stare iniţială ajunge până la 65 kg/mm^2, având alungirea de 16$^0/_0$. Bronzul de aluminiu şi mangan capătă proprietăţi noi după călire şi revenire, ceeace se explică prin solidificarea dispersată a acestor bronzuri. Variaţia dimensiunii acestor bronzuri încetează după 15 ore.

Bronzul silicios înlocueşte cu succes bronzul cu staniu. Aceste bronzuri sunt foarte rezistente la coroziune în apa mării şi în condiţiile atmosferice. Sunt însă inferioare bronzurilor cu staniu din punct de vedere al proprietăţilor de antifricţiune. Piesele turnate din bronzul silicios rezistă la presiuni hidraulice foarte ridicate.

Bronzurile în compoziţia cărora intră până la 4$^0/_0$ siliciu, se pot prelucra prin laminare atât la cald, cât şi la rece. Dacă aliajul conţine cantităţi mari de siliciu, aceste bronzuri devin casante, în care caz se prelucrează prin laminare numai la cald. Manganul în cantitate de 1,5···3$^0/_0$ acţionează pozitiv asupra bronzului silicios. Plumbul ameliorează proprietăţile de antifricţiune ale acestui bronz.

Bronzul silicios se poate trefila la rece, în care caz rezistenţa de rupere poate ajunge până la 100···110 kg/mm^2.

Bronzul cu conţinut de mangan (Br M-5 şi Br M-10) posedă proprietăţi mecanice superioare şi este perfect anticoroziv. El îşi schimbă relativ puţin proprietăţile mecanice la temperaturi ridicate. Conţinutul de plumb de circa 2$^0/_0$ în bronzurile cu mangan ameliorează posibilitatea de prelucrere a bronzurilor la strung, măreşte proprietăţile de antifricţiune, însă, paralel cu aceasta, reduce proprietăţile mecanice.

Aluminiul şi aliajele lui. Greutatea specifică a aluminiului este mică (2,73). Acoperindu-se cu un strat subţire de oxid, rezistă foarte bine la coroziune şi posedă proprietăţi mecanice relativ superioare şi o bună conductibilitate electrică. Conductibilitatea electrică a aluminiului este egală cu 60$^0/_0$ din conductibilitatea electrică a cuprului. Din punct de vedere al greutăţii specifice relativ scăzute, folosirea aluminiului pentru confecţionarea conductorilor electrici este rentabilă. Pentru mărirea rezistenţii lor, cablurile sunt prevăzute cu miezuri de oţel sau în compoziţia aluminiului se introduc adausuri de elemente care-i sporesc rezistenţa.

Aluminiul se poate prelucra foarte bine atât la cald cât şi la rece; la cald se prelucrează la 400···450 °C. Cu cât granulele structurii aluminiului sunt mai mari, cu atât prelucrarea lui se face mai greu. Prin ecruisare la rece, aluminiul devine casant. Pentru a-i reda proprietăţile plastice se procedează la recoacerea intermediară la temperatura de 350···450 °C timp de 2···3 ore.

Aluminiul se oxidează foarte repede în aer liber, însă pelicula de oxid (Al_2O_3) îl apără de oxidare în adâncime. Cu cât aluminiul

este mai pur din punct de vedere chimic, cu atât va fi mai rezistent la coroziune, iar această proprietate creşte şi mai mult după recoacere. La temperatura obişnuită acidul sulfuric şi azotic acţionează foarte slab asupra aluminiului, dar în apa mării sau în acid clorhidric se distruge foarte repede.

Aluminiul pur şi-a găsit întrebuinţare pe scară întinsă în industria chimică şi alimentară, precum şi la confecţionarea foiţelor (staniol).

Rezistenţa de rupere a aluminiului turnat este 9···12 kg/mm², dar aluminiul laminat la rece are 18···28 kg/mm², cel supus recoacerii 7···11 kg/mm². Alungirea corespunde respectiv 18···25%, 3···5% şi 30···45%. In industrie sunt folosite în special aliajele de aluminiu care posedă bune proprietăţi mecanice şi de turnare. Aluminiul în combinaţie cu alte elemente îşi măreşte în mare măsură rezistenţa sa de rupere, care este în funcţie directă de tratamentul termic. Saturaţia cu gaze a aliajelor uşoare are mare influenţă asupra proprietăţilor lor mecanice. Academicianul A. A. Bocivar şi docentul A. G. Spasschi au elaborat metoda de cristalizare a aliajelor sub presiune, ceeace reduce în mare măsură porozitatea.

Aliajele uşoare sunt supuse prelucrării termice în vederea ameliorării proprietăţilor lor mecanice, reducerii tensiunilor şi scăderii durităţii.

Pentru sporirea proprietăţilor mecanice se foloseşte călirea urmată de revenire de lungă durată (îmbătrânire). Asupra calităţii aliajelor influenţează în mare măsură temperatura lor de călire. Temperatura prea înaltă contribue la ardere, în timp ce temperatura joasă de încălzire împiedică obţinerea proprietăţilor mecanice optime. Incălzirea pentru călire se recomandă să fie făcută după o încălzire prealabilă până la 300···350 °C.

De regulă după călire, aliajele uşoare sunt supuse îmbătrânirii (naturale sau artificiale). In timpul îmbătrânirii din aliaje se separă combinaţii chimice foarte mici, care intră în compoziţia aliajului. In cazul când îmbătrânirea se face la o temperatură prea înaltă, sau în cazul menţinerii un timp mai îndelungat, granulele obţinute sunt mai mari, ceeace contribue la înmuiere şi la reducerea rezistenţei.

Tensiunile se înlătură în timpul încălzirii până la temperatura de 300···350 °C. Recoacerea totală se face la temperatura de 350···450 °C, însă trebue să avem în vedere că la temperaturi înalte de recoacere sau în cazul menţinerii mai îndelungate are loc mărirea granulelor, fapt care face aliajul casant.

Deseori aliajele de aluminiu conţin cupru, care finisează structura şi îmbunătăţeşte în mare măsură proprietăţile mecanice. Prezenţa cuprului măreşte stabilitatea aliajelor la coroziune în apa mării.

Aliajele de cupru şi aluminiu se laminează şi se forjează satisfăcător numai atunci, când conţinutul de cupru nu depăşeşte 5%.

Când această cantitate depăşeşte 5%, ele sunt folosite pentru tur. ă-torie, dar şi în acest caz conţinutul maxim de cupru nu trebue să depăşească 20%.

Aceste aliaje se călesc la temperatura de 500 °C, iar după călire sunt încălzite pentru îmbătrânire la 150 °C timp de 6 ore.

Aliajele de aluminiu cu siliciu se toarnă bine şi posedă proprietăţi ridicate. Aceste proprietăţi se obţin prin finisarea structurii, care se realizează prin introducerea substanţelor modificatoare în compoziţia aliajelor. Substanţele modificatoare folosite sunt: fluorură de litiu, natriu şi calciu. Aliajele de aluminiu cu 5···20% siliciu poartă denumirea „silumin". Siliciul măreşte rezistenţa aluminiului la coroziune.

In industrie şi-au găsit întrebuinţare aliajele cu conţinutul de 12···13% siliciu. Greutatea lor specifică este de 2,6, iar contracţia 1,0···1,14%. Rezistenţa de rupere a siluminului variază în limitele 18···23 kg/mm², iar alungirea 4···10%.

Siluminul este folosit pentru turnarea pieselor de formă complexă.

Siluminul se căleşte la temperatura de 525···535 °C şi este supus îmbătrânirii la temperatura de 125···150 °C timp de 70 de ore.

Aliajele în compoziţia cărora intră 5···6% siliciu sunt rar folosite pentru confecţionarea pieselor cu proprietăţi mecanice scăzute.

Introducerea în compoziţia siluminului a unor cantităţi oarecare de cupru le măreşte rezistenţa, însă le micşorează plasticitatea. Cuprul în cantitate de 0,8% măreşte proprietăţile dinamice ale aliajelor. Aliajele de aluminiu cu 1···3% siliciu şi 2···4% cupru poartă denumirea de „lautal". Acest aliaj (lautal) se fasonează perfect atât la cald cât şi la rece şi se prelucrează uşor la maşini unelte. Tratamentul termic al acestui aliaj constă în călirea lui la 480···510 °C şi îmbătrânirea la 120···150 °C timp de 16···48 ore. Rezistenţa de rupere a acestui aliaj se poate ridica prin laminare la rece până la 60 kg/mm² şi alungirea la 3···12%.

In tehnică sunt folosite aliaje complexe de aluminiu cu siliciu, mangan, cupru, etc. In cazul acesta în timpul îmbătrânirii se separă cantităţi mici de incluziuni chimice ale combinaţiilor de magneziu cu siliciu (Mg_2Si) şi ale cuprului cu aluminiu ($CuAl_2$). Paralel cu proprietăţile ridicate, aceste aliaje posedă suficientă rezistenţă contra coroziunii şi se prelucrează bine la maşini unelte.

Aliajul care poartă denumirea de duraluminiu este bine cunoscut. Duraluminiul conţine în compoziţia sa, înafară de aluminiu şi 3,5···4,5% cupru, 0,4···0,7% magneziu, 0,3···0,6% siliciu, 0,4···0,8% mangan şi 0,2···0,3% fier. Mărirea conţinutului de cupru şi magneziu face aliajul casant şi scade posibilitatea de prelucrare prin presare.

Duraluminiul se prelucrează bine atât la rece, cât şi la cald. El umple matriţele deosebit de bine la temperatura de forjare de

420⋯480 °C, dar la încălzirea până la temperatura de 500 °C deseori formează crăpături în timpul deformării.

Rezistența de rupere a duraluminiului se poate ridica prin laminare la rece până la 50⋯55 kg/mm² și alungirea până la 3⋯12%.

Proprietățile mecanice (rezistența de rupere și alungirea) ale duraluminiului cresc paralel cu gradul de prelucrare (la cald) până la 60%. Acest lucru se explică prin sdrobirea și repartiția mai uniformă a granulelor din aliaj.

După călire duraluminiul posedă duritate relativ redusă, însă după 1⋯2 ore această duritate începe să crească ajungând la maximum peste 7 zile (respectiv 170 ore). Prelucrarea prealabilă la rece (premergătoare călirii) prin presare accelerează îmbătrânirea și permite realizarea valorilor mai ridicate pentru rezistența de rupere, duritate și alungire.

Intrucât duraluminiul după călire are duritatea scăzută, prelucrarea pieselor la mașini unelte se face imediat după călire. Imbătrânirea duraluminiului este încetinită în mare măsură de temperaturile scăzute. Deaceea pentru menținerea plasticității niturilor de duraluminiu, după călire, acestea sunt introduse într'un vas răcit cu ajutorul acidului carbonic. Duraluminiul se călește la temperatura de 490⋯510 °C. Incălzirea până la 540 °C provoacă arderea lui. Menținerea timp mai îndelungat la temperatura de călire produce creșterea dimensiunilor granulelor, ceeace la rândul său reduce proprietățile mecanice ale aliajului. Durata de încălzire a duraluminiului se poate determina din formula:

$$t = C\sqrt{A},$$

unde t — durata de timp în minute;
C — coeficient (pentru materialul a cărui grosime este sub 1 milimetru acesta este egal cu 10, iar pentru materialul mai gros de 1 milimetru este egal cu 20);
A — grosimea materialului în milimetri.

Pentru a scurta îmbătrânirea, care durează aproape trei săptămâni, duraluminiul este încălzit până la temperatura de 150⋯175 °C. La temperaturi de încălzire mai înalte duritatea lui începe să scadă. Duritatea minimă se obține dacă aliajul este încălzit la temperatura de 350 °C, deaceea recoacerea aluminiului după prelucrarea lui la rece prin presare se face la temperatura de 350⋯375 °C.

Intrucât duraluminiul are o rezistență mică la coroziune, se acoperă (plachează) cu lame de aluminiu.

Mărirea conținutului de siliciu, magneziu și mangan în compoziția duraluminiului, permite sporirea proprietăților lui mecanice. Aceste aliaje poartă denumirea de superduraluminiu. Compoziția lor chimică este cuprinsă între următoarele limite: 4,3⋯5,2% cupru, 0,5⋯1,0% magneziu, 0,6⋯1,2 mangan, 0,6⋯1,0 siliciu și maximum 0,6% fier. Călirea superaluminiului se face la temperatura de 495⋯508 °C, după care rezistența de rupere este de 43⋯44 kg/mm², iar alungirea de

10···12%. Aliajul care conţine 3,6···4,7% cupru, 1,25···1,75% magneziu, 0,3···0,9% mangan, maximum 0,6% fier şi maximum 0,6% siliciu, are rezistenţa de rupere de 46···54 kg/mm² şi alungirea 14···18%.

Aliajele de aluminiu cu conţinut de 4% cupru, 1,5% magneziu şi 2% nichel (aliajele Y) sunt folosite în stare turnată şi în stare forjată. Rezistenţa lor de rupere este de 34···42 kg/mm², iar alungirea 17···22%. Proprietăţile mecanice ale aliajului se menţin şi la temperaturi ridicate. Forjarea se face în intervalul de temperatură 520···350 °C.

Aliajele care în compoziţia lor au 1,30···2,25% cupru, 1,3% nichel, 0,10···19,6 magneziu, 0,1···0,18% titan şi 0,5···2,20% siliciu îşi găsesc întrebuinţare atât în stare turnată cât şi în stare forjată. Titanul le finisează structura şi le ameliorează proprietăţile mecanice. Temperatura de forjare este de 520···350 °C. Călirea se face la temperatura 510···535 °C. In vederea îmbătrânirii aliajul este încălzit la temperatura de 150···175 °C timp de 14···20 ore. Proprietăţile de turnare ale acestor aliaje sunt foarte bune, deaceea ele sunt folosite pe scară întinsă pentru turnarea pieselor de formă complexă.

Aliajul care în compoziţia lui conţine 9,5···11% magneziu, este folosit pentru piese turnate sub denumirea de „magnal". Tratamentul său termic constă în călire la temperatura de 430···450 °C (de notat este că menţinerea la această temperatură durează până la 20 ore). In cazul îmbătrânirii naturale sau al încălzirii până la 100 °C, aliajul nu-şi schimbă deloc proprietăţile, dar îmbătrânirea la temperaturi mai ridicate face aliajul casant. Având în vedere acest lucru aliajul este folosit în stare călită fără îmbătrânire, în care caz rezistenţa lui de rupere este de circa 30 kg/mm², iar alungirea 10%.

Aliajele care conţin 5% nichel, 2% bismut şi 1% antimoniu, sunt rezistente la coroziune în acid sulfuric. Aliajele în compoziţia cărora intră 2,5% mangan, 2,25% magneziu şi 0,2% antimoniu rezistă la coroziune în apa mării.

Magneziul şi aliajele lui. Magneziul are greutate specifică mică (1,74) şi rezistenţă relativ mare. Magneziul este rezistent la coroziune în leşii (cu excepţia soluţiilor de borax), în timp ce apa mării şi acizii îl distrug foarte repede. La încălzire până la 410···450 °C magneziul se oxidează puternic, arzând cu o flacără orbitor de strălucitoare. La încălzire până la 660 °C el se combină cu oxigenul şi produce explozie. Se poate topi în hidrogen sau sub un strat de fondanţi care îl feresc de oxidare şi de acţiunea azotului.

Zincul şi aluminiul măresc rezistenţa anticorosivă a magneziului şi-i ameliorează proprietăţile mecanice. Aliajele care conţin până la 11% aluminiu sunt cunoscute sub denumirea de „electron". Uneori aliajele de magneziu, înafară de aluminiu (2,5···11%) mai conţin şi zinc (0,5···2%), mangan (0,10···2%) sau siliciu (1···1,5%).

Aliajele de magneziu se călesc şi sunt supuse îmbătrânirii. Majoritatea acestor aliaje se încălzesc înainte de călire până la tempe-

ratura de 410···420 °C şi se menţin la această temperatură timp de circa 16 ore. Face excepţie electronul, care conţine 5···7% aluminiu şi 2···3% zinc (MA-4), a cărui încălzire se face până la 375···385 °C. După călire aliajele sunt ţinute pentru îmbătrânire la temperatura de 170···180 °C timp de 16 ore.

In urma tratamentului termic rezistenţa de rupere creşte până la 30···35 kg/mm², iar alungirea scade până la 1···3%.

Aceste aliaje se prelucrează bine, deaceea sunt folosite în formă de lingouri ca piese forjate brut şi ca diferite profile laminate. In vederea apărării lor contra coroziunii aliajele de magneziu se îmbracă cu plăci de aluminiu, se vopsesc ori se acoperă cu lacuri. Neajunsul aliajelor de magneziu constă în neomogenitatea compoziţiei lingourilor, cum şi în posibilitatea de încălzire şi aprindere a pieselor în timpul prelucrării lor mecanice. Trebue să se aibă în vedere că în timpul arderii magneziul descompune apa şi produce explozie. Deaceea este absolut interzisă stingerea cu apă a aliajului de magneziu aprins; în general nu se recomandă folosirea răcirii cu apă a sculelor de tăiere cu ajutorul cărora se face prelucrarea magneziului.

Continuare de la pag. 209

CAPITOLUL XIV

8.3.1 ALIAJELE ANTIFRICŢIUNE

Aliajele antifricţiune reduc frecarea în lagăre şi totodată contribue la scăderea uzurii fusurilor arborilor.

Academicianul A. M. Bocivar prin lucrările sale a contribuit la stabilirea unei discipline ştiinţifice referitoare la funcţionarea aliajelor antifricţiune şi la stabilirea compoziţiei lor chimice (tabela 39).

Alegerea unui anumit aliaj este în funcţie de condiţiile de lucru ale pieselor supuse frecării (presiunea, viteza de rotire, temperatura pieselor supuse frecării, proprietăţile fizice ale acestora, etc.). Aliajele antifricţiune trebue să se ajusteze perfect pe fusul arborelui, fără a provoca uzura rapidă a acestuia. Duritatea lor trebue să fie mai mică decât duritatea fusului arborelui, cu toate acestea nu trebue să fie prea dure astfel, încât să se lipească de suprafaţa fusului arborelui sau să se topească în timpul lucrului. Aliajul trebue să fie poros, să reţină perfect materialul lubrifiant şi să nu se fărâmiţeze. In caz de retopire aliajul nu trebue să-şi schimbe compoziţia chimică.

Proprietăţi foarte bune antifricţiune posedă acele aliaje a căror structură este neomogenă şi este compusă din particule tari şi moi repartizate uniform în întreaga masă. Prezenţa particulelor tari în masa aliajului de bază (moale) permite acestor particule să se imprime sub acţiunea presiunii arborelui şi prin aceasta să asigure cuzineţilor ajustajul perfect după fusul arborelui.

Baza moale şi păstoasă fereşte particulele fragile de fărâmiţare şi uzându-se repede în timpul frecării formează adâncituri mici, prin care circulă lubrifiantul în care se acumulează metalul fărâmiţat prin frecare. In caz contrar particulele fărâmiţate cum şi produsele frecării vor contribui la uzura rapidă atât a lagărelor cât şi a fusurilor arborilor.

Paralel cu condiţiile indicate mai sus, aceste aliaje trebue să fie uşor fuzibile, ceeace permite turnarea lor directă în lagăre. Cu toate acestea temperatura de înmuiere trebue să fie mai mare decât temperatura încălzirii posibile a pieselor în frecare. Cu cât conductibilitatea termică a aliajului va fi mai ridicată, cu atât evacuarea căldurii se va face în condiţii mai bune şi cu atât lagărele vor funcţiona mai bine.

Ca aliaje antifricţiune îşi găsesc întrebuinţare aliajele cu bază de staniu, plumb şi zinc cu adăugiri de antimoniu, cupru, calciu, stronţiu, bariu, etc., cum şi bronzurile de plumb şi fontele antifricţiune. Aliajul se va alege în aşa fel încât fusul să nu sufere.

Tabela 39

Compoziţia chimică şi intrebuinţarea aproximativă a babiturilor (materiale antifricţiune)

Calitatea	Compoziţia chimică în %						Intrebuinţare aproximativă
	Antimoniu	Cupru	Cadmiu	Plumb	Staniu	Alte elemente	
B—83	10···12	5,5···6,5	—	—	Restul	—	Pentru turnarea lagărelor de maşini cu încărcare mare
BN	13···15	1,5···2,0	1,25···1,75	Restul	9···11	Nichel 0,75···1,25 Arsen 0,5···0,9	Pentru turnarea lagărelor cu încărcare mijlocie
BT	14···16	0,7···1,1	—		9···11	Telur 0,05···0,20	Pentru lagărele motoarelor de tractoare şi auto
B 16	15···17	1,5···2,0	—		15···17	—	Pentru lagărele maşinilor cu încărcare mijlocie
B 6	14···16	2,5···3,0	1,75···2,25		5···6	Arsen 0,6···1,0	Pentru lagărele maşinilor cu încărcare relativ redusă
BK	maximum 0,25	—	—		—	Sodiu 0,65···0,95 Calciu 0,75···1,1	Pentru lagărele cu presiunea maximă de 200 kg/cm²

65. Aliajele antifricţiune cu bază de plumb sau staniu

Aliajele antifricţiune cu bază de staniu sau de plumb poartă denumirea de „babit“. Dacă în compoziţia babitului se găseşte între 12...18% antimoniu, aceasta are influenţă favorabilă asupra aliajului. Deşi aliajele de antimoniu cu plumb sau staniu în timpul solidificării dau soluţii solide, aceste soluţii diferă foarte puţin de baza lor (plumb sau staniu), iar asupra calităţii babiturilor influenţa predominantă o au cristalele pure de antimoniu sau combinaţiile chimice ale antimoniului cu staniul. Condiţiile de turnare influenţează asupra calităţii aliajului. In cazul răcirii foarte lente a aliajului topit, cristalele de antimoniu formate vor fi foarte mari, din care cauză calitatea babitului va fi inferioară. Răcirea rapidă contribue la formarea cristalelor fine de antimoniu, ceeace deasemenea influenţează negativ calitatea babitului. Deseori în compoziţia babiturilor se adaugă cupru. Adăugarea de cupru are drept scop să reducă segregaţia plumbului şi totodată să se obţină incluziuni Cu_2Sb care se repartizează uniform în masa aliajului în formă de ace de culoare deschisă. Uneori în loc de cupru se introduce în babit nichelul.

In babiturile cu baza de staniu acesta împreună cu cuprul şi antimoniul formează combinaţii chimice, care se repartizează uniform în întreaga masă a aliajului.

Babitul cel mai bun este cel preparat pe bază de staniu (marca B 83). Acest babit este folosit pentru turnarea cuzineţilor şi a lagărelor la turbinele de aburi, turbo-compresorilor, turbo-pompelor, compresorilor de mare capacitate, motoarelor Diesel, maşinilor de abur cu număr mare de turaţii, utilizate la vapoare, a motoarelor de auto şi aviaţie, foarte puternice şi altele. In fig. 124 (pag. 180) se dă structura unui astfel de aliaj.

Datorită faptului că staniul este foarte scump şi greu de procurat, în industrie sunt folosite pe scară întinsă babiturile cu bază de plumb, în care afară de plumb se mai găseşte şi antimoniu, cupru, cadmiu, nichel, arsen şi staniu.

Babitul cu marca BN este folosit pentru turnarea lagărelor de bielă, a lagărelor principale şi de serie dela motoarele cu combustie internă, precum şi pentru turnarea lagărelor de bielă, principale şi de serie, la motoarele de tractoare şi auto, a locomotivelor electrice, a motoarelor electrice de 250...750 kW, a maşinilor de ridicat de maximum 180 CP, concasoarelor, etc.

Babitul B 16 a fost propus de profesorul A. M. Bocivar în anul 1918. Acesta poate în multe cazuri înlocui babitul B 83 şi serveşte la turnarea jumătăţilor superioare a crapodinelor (lagărelor axiale) dela turbinele de aburi, a maşinilor navale şi staţionare de aburi a căror putere este de maximum 1 200 CP, a hidro-turbinelor, a locomotivelor electrice, a motoarelor electrice de 250...750 kW, a maşinilor de ridicat de maximum 1800 CP, concasoare, etc.

Babitul B 6 serveşte la turnarea lagărelor motoarelor cu petrol, compresorilor de orice putere, lagărelor pentru maşinile de prelucrat metalul, transmisii, motoare electrice de 100...250 kW şi altele.

In industria construcţiilor de motoare Diesel, este folosit babitul, care conţine circa 76% staniu, 13% antimoniu, 8,5% cupru, 1,5% plumb şi 0,5% fier.

In industrie este folosit pe scară întinsă aliajul cu bază de plumb care conţine 22% staniu, 1,7% cupru, 16% antimoniu, 0,36% grafit şi circa 60% plumb. Grafitul în acest aliaj îndeplineşte funcţia de material auxiliar lubrifiant.

In calitate de aliaje antifricţiune sunt folosite babiturile cu metale alcaline şi alcalino-pământoase, a căror cantitate totală nu trebue să depăşească 3%. Intrucât bariul, natriul, calciul, stronţiul, etc., se oxidează foarte repede, topirea acestui fel de babituri se face sub un strat de cărbune. Cuzineţii se păstrează fiind perfect unşi.

Pentru exemplificarea acestui fel de babituri se poate cita aliajul care conţine în compoziţie 96,5% plumb, 2,8% bariu, 0,4% cupru şi 0,3% natriu. Temperatura de topire a unui astfel de babit este de 320°C, în timp ce babitul pe bază de plumb şi staniu se topeşte la 200°C.

In domeniul transporturilor feroviare, pentru lagărele vagoanelor de cale ferată, se utilizează babitul de natriu şi calciu — BK. In acest babit se admite un conţinut maxim de antimoniu de 0,5%. Baza moale a babitului de acest fel este formată din soluţie solidă de natriu în plumb. Combinaţia chimică a plumbului şi calciului este componenta solidă a aliajului. Acest babit este ieftin, însă are neajunsul schimbării compoziţiei chimice la retopire, datorită arderii calciului.

Babiturile de natriu şi calciu se recomandă spre folosire pentru turnarea lagărelor locomotivelor, lagărelor de laminoare, tenderelor, a motoarelor de petrol, pompelor centrifugale, ventilatoarelor cu presiunea specifică de maximum 200 kg/cm². Fabricaţia acestui fel de babit este mult mai complexă decât a celor cercetate mai sus.

Unul dintre materialele ieftine pentru lagăre sunt aliajele de zinc în compoziţia cărora se introduce cupru, aluminiu, staniu, antimoniu şi plumb. De pildă pentru înlocuirea babitului B 16 se poate folosi aliajul de zinc cu 5% cupru şi 5% aluminiu.

In anumite cazuri pentru înlocuirea babitului de calitate superioară se pot folosi aliajele de aluminiu cu 2...5% nichel, aliajele de aluminiu cu 5...7% fier şi 0,4...0,6% magneziu, precum şi aliajele de aluminiu cu 1,25% siliciu şi 8,5% cupru. Aceste aliaje sunt mult mai ieftine decât cele cu staniu şi rezistă la sarcini mari. Aliajul AN—25 cu 2...3% nichel este elaborat de NIDI. Neajunsurile lagărelor confecţionate din acest aliaj constau în faptul că sgârie arborele în timpul funcţionării motoarelor de automobile şi tractoare şi se deformează.

NATI a propus aliajul de aluminiu în compoziția căruia intră antimoniu, plumb și magneziu. Acest aliaj posedă bune proprietăți antifricțiune. Pentru a evita deformarea și griparea lagărelor se confecționează o bandă din două straturi. O parte a benzii se confecționează din aliajul sus menționat, iar cealaltă din duraluminiu, care este mai rezistent și își conservă proprietățile sale elastice la temperaturi înalte.

Aliajele de zinc cu aluminiu și cupru, care conțin 2,0...3,0% cupru și 19...21% aluminiu, 4,5...5,5% cupru și 9,5...10,5% aluminiu și 9,5...10,5% cupru și 4,5...5,5% aluminiu, în anumite cazuri pot înlocui babiturile cu bază de staniu.

Tabela 40

Compoziția chimică a fontelor antifricțiune

Calitatea	Compoziția chimică în %								
	Carbon (total)	Siliciu	Mangan	Fosfor	Sulf	Crom	Nichel	Cupru	Aluminiu
Feritică . . .	3,2—3,6	3,0—3,5	0,4	0,1	0,07	—	—	—	—
T—1	3,2 - 3,6	2,2—2,4	0,6—0,9	0,15—0,20	max. 0,12	0,2—0,35	0,3—0,4	0,2—0,3	0,1—0,15
T—2	3,2—3,6	2,2—2,4	0,6—0,9	0,15—0,20	max. 0,12	0,2—0,35	0,3—0,4	—	—
T—3	3,2—3,6	2,4—2,9	0,8—1,0	0,15—0,20	max. 0,12	0,2—0,35	0,3—0,4	0,7—0,9	0,1—0,15
Fonta perlitoferitică, forjabilă .	2,5—2,8	—	0,35—0,60	0,10—0,18	max. 0,04	—	—	—	—
CM—1,8 . . .	2,8—3,2	1,6—1,9	0,8—1,1	max. 0,3	max. 0,08	0,2—0,4	max. 0,5	1,5—2,0	—
CM—1,3 . . .	2,8—3,2	0,6—1,0	0,6—0,9	max. 0,2	max. 0,06	max. 0,05	max. 0,5	1,0—1,5	—

In cazul presiunilor specifice de maximum 2,5 kg/mm^2 și a vitezelor periferice de 3...4 m/s, în timpul funcționării cu ungere și solicitare liniștită, se poate folosi ca material antifricțiune fonta perlitică (tabela 40). In cazul presiunilor specifice mai ridicate fonta nu se poate folosi ca material antifricțiune. Proprietățile superioare ale fontei maleabile se obțin în urma călirii și revenirii, datorită cărora perlita lamelară se transformă în perlită granulară, ceeace ameliorează proprietățile sale antifricțiune.

La turnarea cuzineților cu babit se va urmări cu atenție ca suprafețele pe care se face turnarea să fie perfect curățate de orice murdărie. In acest scop cuzineții sunt în prealabil degresați și spălați în apă clocotită. Degresarea se face în baie cu leșie, iar înainte de

aceasta cuzinetul se curăţă bine cu hârtie şmirghel. După degresare şi spălare cuzineţii se decapează cu acid clorhidric (1 : 1) şi se spală cu apă.

După aceasta, pe suprafaţa cuzinetului se aşează cu ajutorul unei role de pâslă sau cu pensula un strat de fondant, care este compus dintr'o soluţie de clorură de zinc (40% clorură de zinc şi 80% apă) cu adăugare de 45 grame de clorură de amoniu pentru 1 litru de soluţie. După întinderea unui strat uniform de material fondant cuzinetul se cositoreşte la temperatura 310...330 °C, iar după aceasta se toarnă babit. Turnarea se poate face pe cale obişnuită sub presiune şi pe cale centrifugală în lagăre rotative. Ultimul mijloc este cel mai bun.

66. Aliajele antifricţiune cu bază de cupru

In cazul presiunilor mari, cum şi în cazurile când are loc încălzirea lagărilor, sunt folosite în calitate de materiale antifricţiune bronzurile cu plumb, care conţin în compoziţia lor maximum 60% plumb. Plumbul îndeplineşte funcţia de lubrifiant şi reduce frecarea.

Afară de aceasta el ameliorează prelucrurea bronzului prin tăiere, îi sporeşte compactitatea şi îi ameliorează fluiditatea. In mod obişnuit lingourile de broz au segregaţie foarte pronunţată cu caracter dendritic cu axele moi şi spaţii interaxiale dure. Această proprietate este de mare importanţă la folosirea bronzurilor ca material de confecţionarea lagărelor.

Turnarea bronzurilor cu staniu prezintă unele greutăţi, întrucât acestea segregă foarte puternic. Pentru a se micşora segregaţia, răcirea după turnare se face repede (circa 15...17 °C/s).

Prezenţa fierului în compoziţia bronzurilor cu plumb influenţează nefavorabil proprietăţile antifricţiune ale aliajelor. Aliajele antifricţiune de bună calitate nu trebue să conţină în compoziţia lor cantităţi de fier mai mari de 0,1...0,2%. Antimoniul măreşte fluiditatea aliajului, însă în acelaşi timp îi măreşte şi fragilitatea. Conţinutul de antimoniu în aliajele antifricţiune trebue să fie sub 0,5%.

In cazul când în compoziţia aliajului există nichel până la maximum 2%, acesta micşorează segregaţia. Totuşi preţul prea ridicat, precum şi lipsa de nichel, nu permit introducerea lui în bronzurile antifricţiune.

Bronzurile antifricţiune pot înlocui babiturile cu bază de staniu. Desavantajul bronzurilor cu plumb constă în posibilitatea mai redusă de a le ajusta, în urma cărui fapt este necesară o ajustare şi şlefuire exactă a cuzineţilor şi a arborelui.

Asupra capacităţii de lucru a bronzurilor influenţează şi materialul intrat în compoziţia aliajului. De regulă această chestiune se rezolvă pe cale experimentală.

Bronzurile cu bază de plumb accelerează procesul de oxidare a uleiului lubrifiant, ceeace este un neajuns. Acest neajuns se poate însă înlătura prin folosirea uleiurilor cu proprietăţi stabile.

Pentru a evita confecţionarea cuzineţilor şi a bucşelor în întregime din metale neferoase, uneori se confecţionează lagăre şi bucşe din oţel; în interior, ele sunt căptuşite cu o bandă de bronz pentru cuzineţi, sau se introduce un tub de bronz confecţionat prin ştanţare (compresare). Proprietăţile mecanice ale benzii se pot schimba pe scară largă prin ecruisare.

Pentru a reduce consumul de metale neferoase, sunt deseori folosite benzile şi bucşele bimetalice. Aceste bucşe se pot obţine prin turnarea bronzului cu plumb într'un tub încălzit la 110...120 °C care se mişcă cu viteza de 1 000...1 300 rotaţii pe minut.

In continuare
Capitolul IX
Proprietățile metalelor și aliajelor:

Vezi textul scris care se continuă cu textul încadrat în Chiriță pag 6

Temperatura de revenire a unor fabricate

Specificaţia	Calitatea oţelului	Temperatura de revenire °C
Freze, alezoare, burghie, tarozi, zencuitoare, etc.	U10, U10A, U12, U12A, HG	170—190 190—210
	HYG	150—170
	OXS	540—560
	Oţel rapid şi înlocuitorii săi	două-patru ori
Arcuri spirale	50 HFA	430—450
	U7A	380—420
	60 S2	470—490
	55 S	420—450
Arcuri late	60 S2	400—450
	50 HG	450—480
	65 S2	480—500
		500—560
		400—510
	50 HF	350—4[illegible]0
	55	430—450
Axele diferitelor maşini şi mecanisme (cu secţiunea peste 100 mm)	30 H	540—560
Piesele motoarelor cu combustiune internă:		
Arborii de distribuţie	20	200—220
	13 H2A	160—180
Biele	40	500—520
	35 G	610—630
	18 HNMA	180—220
	40 HNMA	560—620
Supape	EI—107	760—800
	40 H	600—620
	25 HNNFA	620—660
Arborii cotiţi	45	170—190
	118 HNMA	180—220
Piese de auto, tractoare, roţi dinţate de strung, cutii de viteze reductoare, diferenţiale, etc.	40 HS	580—620
	20 HS	180—200
	12 H24 CA	170—210
	50 HN	250
	12HN3 A	150—180
	18 HNMA	180—200
Şuruburi	40 H	590—630
	40 SH	560—600
	40 HN	410—430
	20 HGS	500—520
Piuliţe	45	530—570
	40 HN	540—5[illegible]0
	35	530—560
	40 HS	650—690

Anexa II

Compoziția chimică a oțelului aliat de construcții
(GOST 4543—48)

Numărul grupei	Categoria oțelului	Calitatea oțelului	Compoziția chimică în %					
			Carbon	Siliciu	Mangan	Crom	Nichel	Alte elemente de aliere
			Oțel superior					
1	Cu crom	15 H	0,12—0,20	0,17—0,37	0,30—0,60	0,70—1,00	≤0,40	—
		20 H	0,15—0,25	0,17—0,37	0,50—0,80	0,70—1,00	≤0,40	—
		30 H	0,25—0,35	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,40	—
		35 H	0,30—0,40	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,40	—
		40 H	0,35—0,45	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,40	—
		45 H	0,40—0,50	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,40	—
		50 H	0,45—0,55	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,40	—
								Vanadiu
2	Crom-Vanadiu	15 HF	0,12—0,20	0,17—0,37	0,30—0,60	0,80—1,10	≤0,40	0,10—0,20
		20 HF	0,15—0,25	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,40	0,10—0,20
								Molibden
3	Molibden	15 M	0,10—0,18	0,17—0,37	0,40—0,70	≤0,30	≤0,30	0,40—0,55
		20 M	0,15—0,25	0,17—0,37	0,40—0,70	≤0,30	≤0,30	0,40—0,55
		30 M	0,25—0,35	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	≤0,40	0,40—0,55
4	Crom-Molibden	12 HM	≤ 0,16	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,30	0,40—0,55
		20 HM	0,15—0,25	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,40	0,15—0,25
		30 HM	0,25—0,35	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,40	0,15—0,25
		35 HM	0,30—0,40	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,40	0,15—0,25
5	Crom-Siliciu	33 HS	0,29—0,37	1,00—1,30	0,30—0,60	1,30—1,60	≤0,40	—
		37 HS (40 HS)	0,32—0,42	1,00—1,30	0,30—0,60	1,30—1,60	≤0,40	—
		40 HS	0,37—0,45	1,20—1,60	0,30—0,60	1,30—1,60	≤0,40	—
6	Crom-Mangan	15 HG	0,12—0,20	0,17—0,37	1,10—1,40	0,40—0,70	≤0,40	—
		20 HG	0,15—0,25	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≤0,40	—
		40 HG	0,35—0,45	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≤0,40	—
		35 HG 2	0,30—0,40	0,17—0,37	1,60—1,90	0,40—0,70	≤0,40	—

	Idem cu Titan	13 HGT	0,16—0,24	0,17—0,37	0,80—1,10	1,00—1,30	≤0,40	Titan 0,08—0,15
7	Crom-Mangan-Molibden	18 HGM	0,16—0,24	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≤0,40	Molibden 0,20—0,30
		40 HGM (38 HGM)	0,37—0,45	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≤0,40	0,20—0,30
8	Siliciu-Mangan	27 SG	0,22—0,32	1,10—1,40	1,10—1,40	≤0,30	≤0,40	—
		35 SG	0,30—0,40	1,10—1,40	1,10—1,40	≤0,30	≤0,40	—
9	Crom-Siliciu-Mangan	20 HGS	0,15—0,25	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10	≤0,40	—
		25 HGS	0,22—0,30	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10	≤0,40	—
		30 HGS	0,25—0,35	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10	≤0,40	—
		35 HGS	0,30—0,40	1,10—1,40	0,80—1,10	1,10—1,40	≤0,40	—
12	Nichel	25 N	0,20—0,30	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	0,50—0,90	—
		30 N	0,25—0,35	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	0,80—1,20	—
13	Nichel-Molibden	15 NM	0,10—0,18	0,17—0,37	0,40—0,70	≤0,30	1,50—2,00	Molibden 0,20—0,30
		20 NM	0,17—0,25	0,17—0,37	0,40—0,70	≤0,30	1,50—2,00	0,20—0,30
		40 NM	0,37—0,45	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	1,50—2,00	0,20—0,30
14	Crom-Nichel	20 HN	0,15—0,25	0,17—0,37	0,40—0,70	0,45—0,75	1,00—1,50	—
		40 HN	0,35—0,45	0,17—0,37	0,50—0,80	0,45—0,75	1,00—1,50	—
		45 HN	0,40—0,50	0,17—0,37	0,50—0,80	0,45—0,75	1,00—1,50	—
		50 HN	0,45—0,55	0,17—0,37	0,50—0,80	0,45—0,75	1,00—1,50	—
		12 HN 2	≤0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	1,50—2,00	—
		12 HN 3	≤0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,75—3,25	—
		20 NH 3	0,25—0,35	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,75—3,25	—
		12 H 2 N 4	≤0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	1,25—1,75	3,25—3,75	—
		20 H 2 N 4	0,15—0,22	0,17—0,37	0,30—0,60	1,25—1,75	3,25—3,75	—

Numărul grupei	Categoria oţelului	Calitatea oţelului	Compoziţia chimică în %					
			Carbon	Siliciu	Mangan	Crom	Nichel	Alte elemente de aliere
			Oţel de calitate superioară					
1	Crom	15 HA	0,12—0,18	0,17—0,37	0,30—0,60	0,70—1,00	≤0,40	—
		20 HA	0,17—0,24	0,17—0,37	0,50—0,80	0,70—1,00	≤0,40	—
		30 HA	0,25—0,33	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,40	—
		30 HA	0,34—0,42	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,40	—
		45 HA	0,42—0,50	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,40	—
		50 HA	0,47—0,55	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,40	—
								Vanadiu
2	Crom-Vanadiu	15 HFA	0,12—0,18	0,17—0,37	0,30—0,60	0,80—1,10	≤0,40	0,10—0,20
		20 HFA	0,17—0,25	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,40	0,10—0,20
		40 HFA	0,37—0,45	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,40	0,10—0,20
		50 HFA	0,46—0,54	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	≤0,40	0,10—0,20
								Molibden
3	Molibden	12 MA	0,10—0,16	0,17—0,37	0,40—0,70	≤0,30	≤0,30	0,40—0,55
		20 MA	0,17—0,24	0,17—0,37	0,40—0,70	≤0,30	≤0,30	0,40—0,55
		30 MA	0,26—0,34	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	≤0,30	0,40—0,55
								Molibden
4	Crom-Molibden	15 HMA	0,10—0,18	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,30	0,40—0,55
		20 HMA	0,17—0,24	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,40	0,15—0,25
		30 HMA	0,25—0,33	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,40	0,15—0,25
		35 HMA	0,32—0,40	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	≤0,40	0,15—0,25
		35 H2MA	0,32—0,40	0,17—0,37	0,40—0,70	1,60—1,90	≤0,40	0,15—0,25
5	Crom-Siliciu	33 HSA	0,29—0,37	1,00—1,30	0,30—0,60	1,30—1,60	≤0,40	—
		40 HSA	0,37—0,45	1,00—1,30	0,30—0,60	1,30—1,60	≤0,40	—
6	Crom-Mangan	15 HGA	0,12—0,18	0,17—0,37	1,10—1,40	0,40—0,70	≤0,40	—
		20 HGA	0,18—0,25	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≤0,40	—
		40 HGA	0,37—0,45	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≤0,40	—
		35 HG2A	0,32—0,40	0,17—0,37	1,60—1,90	0,40—0,70	≤0,40	—

7	Crom-Mangan-Molibden	18 HGMA	0,16—0,24	0,17—0,37	0,90—1,20	0,90—1,20	≤0,40	Molibden 0,20—0,30
		40 HGMA	0,37—0,45	0,17—0,37	0,90-1,20	0,90—1,20	≤0,40	0,20—0,30
9	Crom-Mangan-Siliciu	20 HGSA	0,17-0,24	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10	≤0,40	—
		25 HGSA	0,22—0,29	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10	≤0,40	—
		30 HGSA	0,28—0,35	0,90—1,20	0,80—1,10	0,80—1,10	≤0,40	—
		35 HGSA	0,32—0,39	1,10—1,40	0,80—1,10	1,10—1,40	≤0,40	—
10	Crom-Aluminiu şi Crom-Molibden-Aluminiu	35 HIA	0,31—0,39	0,17—0,37	0,30—0,60	1,35—1,65	≤0,40	Aluminiu 0,70—1,20
		58 HMIA	0,35-0,42	0,17—0,37	0,30—0,60	1,35-1,65	≤0,40	0,70—1,10 Molibden 0,15 - 0,25
11	Crom-Molibden-Vanadiu	35 HMFA	0,30—0,38	0,17—0,37	0,40-0,70	1,00-1,30	≤0,40	Vanadiu 0,10 - 0,20
		25 H2MFA	0,22—0,29	0,17—0,37	0,40—0,70	1,50—1,80	≤0,40	Molibden 0,20—0,30 Vanadiu 0,15—0,30 Molibden 0,20—0,30
12	Nichel	25 HA	0,22—0,30	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	0,50—0,90	—
		30 HA	0,27—0,35	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	0,80—1,20	—
13	Nichel-Molibden	15 HMA	≤0,17	0,17—0,37	0,40 0,70	≤0,30	1,50—2,00	Molibden 0,20—0,30
		40 HMA	0,37—0,45	0,17—0,37	0,50—0,80	≤0,30	1,50—2,00	0,20—0,30
14	Crom-Nichel	20 HNA	0,15—0,23	0,17—0,37	0,40-0,70	0,45—0,75	1,00—1,50	—
		40 HNA	0,37—0,45	0,17—0,37	0,50—0,80	0,45—0,75	1,00—1,50	—
		12 HN2A	0,11—0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	1,50—2,00	—
		12 HN3A	0,11—0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,75—3,25	—
		20 HN3A	0,17—0,25	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60 - 0,90	2,75—3,25	—
14	Crom-Nichel	30 HN3A	0,27—0,35	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,75 - 3,25	—
		37 HN3A	0,33-0,41	0,17—0,37	0,25—0,55	1,20—1,60	3,00—3,50	—
		12 H2N4A	0,11-0,17	0,17—0,37	0,30-0,60	1,25—1,75	3,25—3,75	—
		20 H2N4A	0 ,5-0,22	0,17—0,37	0,30—0,60	1,25—1,75	3,25—3,75	—

Continuare anexa II

Numărul grupei	Categoria oțelului	Calitatea oțelului	Compoziția chimică în %					
			Carbon	Siliciu	Mangan	Crom	Nichel	Alte elemente de aliere
15	Crom-Nichel-Vanadiu	20 HN4FA	0,17—0,24	0,17—0,37	0,25—0,55	0,70—1,10	3,75—4,25	Vanadiu 0,15—0,30
16	Crom-Nichel-Wolfram	18 HNVA	0,14—0,21	0,17—0,37	0,25—0,55	1,35—1,65	4,00—4,50	Wolfram 0,80—1,20
		25 HNVA	0,21—0,28	0,17—0,37	0,25—0,55	1,35—1,65	4,00—4,50	0,80—1,20
17	Crom-Nichel-Molibden	12 H2N3MA	0,10—0,17	0,17—0,37	0,30—0,60	1,45—1,75	2,75—3,25	Molibden 0,20—0,30
		18 H2N4MA	0,15—0,22	0,17—0,37	0,40—0,70	1,45—1,75	3,25—3,75	0,20—0,30
		33 HN3MA	0,29—0,37	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	2,50—3,00	0,20—0,30
		40 HNMA	0,36—0,44	0,17—0,37	0,50—0,80	0,60—0,90	1,25—1,75	0,15—0,20
18	Crom-Nichel-Molibden	30 HN2MFA	0,26—0,33	0,17—0,37	0,30—0,60	0,60—0,90	2,00—2,50	Vanadiu 0,15—0,30 Molibden 0,20—0,30
		45 HNMFA	0,42—0,50	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	1,30—1,80	Vanadiu 0,10—0,20 Molibden 0,20—0,30

Observații. 1. La marca oțelului numerele formate din două cifre stânga, indică conținut mijlociu de carbon în sutimi de procente, literele din dreapta cifrelor arată: G — Mangan; C — Siliciu; H — Crom; N — Nichel; V — Wolfram; F — Vanadiu; N — Molibden; I — Aluminiu; T — Titan. Cifrele de după litere indică conținutul în procente a elementului respectiv în unități întregi. Categoriile de oțel de calitate superioară sunt indicate la sfârșit prin A. In paranteză se dau însemnările anterioare ale mărcilor.

2. Calitățile de oțel aliate cu Molibden, Wolfram și Vanadiu, precum și cu Nichel peste 2,0% se vor folosi numai în cazuri bine întemeiate din punct de vedere tehnic și numai cu aprobarea obținută conform dispozițiunilor în vigoare.

3. In oțelurile de calitatea 40 H care sunt furnizate de fabrică uzinelor de auto și tractoare conținutul de carbon va fi în limitele 0,37-0,45%.

4. In oțeluri de calitatea 18 HNVA și 25 HNVA, Wolframul se poate înlocui cu Molibden în proporție 3 părți greutate de Wolfram cu o parte — în greutate — de Molibden.

Proprietățile mecanice ale oțelului de construcție aliat (GOST 4543–48)

Nr. grupării oțelului	Calitatea oțelului	Tratamentul termic					Proprietățile mecanice				
		Călirea			Revenirea						
		Temperatura °C		Mediu	Temperatura °C	Mediu	Rezistența de rupere, kg/mm²	Limita de curgere kg/mm²	Alungire %	Gâtuirea la rupere în %	Reziliența în kgm/cm²
		Prima călire	A doua călire				minim				
1	15H	860	780	Apă	200	Aer	70	50	10	45	7
	15HA	860	780	"	200	"	70	50	11	50	8
	20H	860	—	Apă sau ulei	200	Apă sau ulei	80	60	10	40	6
	30H	860	—	Ulei	500	" " "	90	70	11	45	6
	35H	860	—	"	500	" " "	95	75	10	45	6
	38HA	860	—	"	550	" " "	95	80	12	50	9
	40H	850	—	"	500	" " "	100	80	9	45	6
	45H	840	—	"	500	" " "	105	85	8	40	5
	50H	830	—	"	500	" " "	110	90	8	40	4
2	15HF	860	780	Apă	200	Aer	75	55	12	50	8
	20HF	880	—	Apă sau ulei	500	Apă sau ulei	80	60	12	50	8
	40HFA	880	—	Ulei	650	" " "	90	75	10	50	9
	50HFA	860	—	"	475	" " "	130	110	10	45	—
4	20HM	880	—	Apă sau ulei	500	" " "	80	60	12	50	9
	30HM	880	—	Ulei	560	" " "	95	75	11	45	8
	30HMA	880	—	"	560	" " "	95	75	12	50	9
	35HM	850	—	"	560	" " "	95	80	11	45	7
	35HMA	850	—	"	560	" " "	95	80	12	50	8
	35H2MA	870	—	"	620	" " "	105	90	8	45	8

Urmare din Anexa III

Nr. grupării oțelului	Calitatea oțelului	Tratamentul termic					Proprietățile mecanice				
		Călirea			Revenirea		Rezistența de rupere, kg/mm²	Limita de curgere kg/mm²	Alungire %	Gâtuirea la rupere, în %	Reziliența în kgm/cm²
		Temperatura °C Prima călire	Temperatura °C A doua călire	Mediu	Temperatura °C	Mediu	minim				
5	35HS	920	—	Apă sau ulei	630	Apă sau ulei	85	65	13	50	6
	37HS (40 SH)	900	—	Ulei	630	Ulei	90	70	12	50	7
	40HS	900	—	„	540	„	125	105	12	40	5
6	20HG	860	—	„	180	Aer	80	60	12	50	—
	35HG2	870	—	„	600	Apă	85	70	12	45	8
7	18HGM	860	—	„	190	Aer	110	90	10	50	9
	40HGM	850	—	„	600	Apă sau ulei	100	80	10	45	9
8	27SG	920	—	Apă	420	„ „ „	100	80	12	40	5
	35SH	900	—	„	590	Apă	85	65	15	40	6
9	20HGS	880	—	Ulei	500	Apă sau ulei	80	60	10	40	6
	30HGS	880	—	„	520	„ „ „	110	85	10	45	4,5
	30HGSA	880	—	„	520	„ „ „	110	85	10	45	5
	35HGSA	Călirea izotermică la 880 °C prin amestec cu soluție de calciu și natriu la 280···310 °C					165	130	9	45	6
10	35HIA	940	—	Apă caldă sau ulei	650	Apă sau ulei	95	75	10	50	8
	38HMIA	940	—	„ „ „ „	650	„ „ „	100	85	15	50	9
11	35HMFA	900	—	Ulei	630	„ „ „	110	95	10	50	9
13	15HM	860	780	„	200	Aer	85	65	11	50	8

14	20HN	840	—	Apă sau ulei	500	Apă sau ulei	80	60	10	50	8
	40HN	820	—	Ulei	500	„	100	80	10	45	7
	45HN	820	—	„	530	„	100	80	10	45	7
	50HN	820	—	„	500	„	110	85	8	40	5
	12HN2	860	780	Ulei sau apă	200	„	80	60	12	50	8
	12HN2A	860	780	„ „ „	200	„	80	60	12	50	9
	12HN3	860	780	Ulei	150	„	95	70	10	50	8
	12HN3A	860	780	„	150	„	95	70	11	55	9
	20HN3A	820	—	„	500	„	95	75	11	55	10
	30HN3	820	—	„	530	„	100	80	9	45	8
	37HN3A	820	—	„	530	„	115	100	10	50	6
	12H2N4	880	780	„	200	Aer	110	85	10	50	8
	12H2N4A	880	780	„	200	„	110	85	10	50	9
	20H2N4	880	780	„	200	„	120	110	9	45	7
	20H2N4A	880	780	„	200	„	120	110	9	45	8
15	20HN4FA	850	—	„	510	Ulei	110	90	10	50	8
16	18HNVA	950	850	Aer	160	Aer	115	85	12	50	10
	25HNVA	850	—	Ulei	560	Ulei	110	95	11	45	9
17	12H2N3MA	860	—	„	180	Apă sau ulei	100	80	9	50	9
	18H2N4MA	950	850	Aer	200	Aer	115	85	10	45	10
	40HNMA	850	—	Ulei	600	Apă sau ulei	100	85	12	55	10
18	30HN2MFA	860	—	„	680	„	90	80	10	40	9
	45HNMFA	860	—	„	460	Ulei	150	135	7	35	4

Observaţiuni. 1. Normele proprietăţilor mecanice, pentru calităţile de oţeluri care nu sunt arătate în tabelă, se stabilesc pe bază de caiete de sarcini speciale.

2. Normele citate în tabelă privesc oţelul cu profil până la 60 mm. La încercarea oţelului cu dimensiunea dela 60 până la 100 mm se admite micşorarea alungirii cu o unitate şi gâtuirea cu 5 unităţi faţă de prevederile normelor, arătate în tabelă. Pentru oţeluri cu dimensiunea dela 100 până la 150 mm se admite micşorarea alungirii cu 2 unităţi şi gâtuirea cu 10 unităţi faţă de normele arătate în tabelă. Pe baza înţelegerii între părţi pentru oţelurile cu aceste dimensiuni se admite micşorarea rezilienţei cu 10%. Pentru oţeluri cu dimensiunile mai mari de 150 mm, ordinea de stabilire a proprietăţilor mecanice şi a normelor se stabileşte pe bază de caiete de sarcini speciale.

3. Pe baza înţelegerii între părţi pentru oţeluri de anumite calităţi la determinarea proprietăţilor lor mecanice se admite modificarea regimului de tratament termic, arătat în tabela 3, cu corectările respective ale proprietăţilor lor mecanice.

Raportul dintre durități după Brinell și Rockwell

Duritatea după Brinell		Duritatea după Rockwell		Duritatea după Brinell		Duritatea după Rockwell	
Diametrul amprentei în mm	Numărul de duritate	Scara C (diamant)	Scara B (bilă de oțel)	Diametrul amprentei în mm	Numărul de duritate	Scara C (diamant)	Scara B (bilă de oțel)
2,20	782	72	—	3,40	321	35	—
2,25	745	69	—	3,45	311	34	—
2,30	712	67	—	3,50	302	33	—
2,35	683	65	—	3,55	293	31	—
2,40	652	63	—	3,60	285	30	—
2,45	627	61	—	3,65	277	29	—
2,50	600	59	—	3,70	269	28	—
2,55	578	58	—	3,75	262	27	—
2,60	555	56	—	3,80	255	26	—
2,65	532	54	—	3,85	248	25	—
2,70	512	52	—	3,90	241	24	100
2,75	495	51	—	3,95	235	23	99
2,80	477	49	—	4,00	229	22	98
2,85	460	48	—	4,05	223	21	97
2,90	444	47	—	4,10	217	20	97
2,95	429	45	—	4,15	212	19	96
3,00	415	44	—	4,20	207	18	95
3,05	401	43	—	4,25	201	—	94
3,10	388	41	—	4,30	197	—	93
3,15	375	40	—	4,35	192	—	91
3,20	363	39	—	4,40	187	—	92
3,25	352	38	—	4,45	183	—	89
3,30	341	37	—	4,50	179	—	88
3,35	331	36	—	4,55	174	—	87
4,60	170	—	86	5,70	107	—	59
4,65	167	—	85	5,75	105	—	58
4,70	163	—	84	5,80	103	—	57
4,75	159	—	83	5,85	101	—	56
4,80	156	—	82	5,90	99	—	54
4,85	152	—	81	5,95	97	—	53
4,90	149	—	80	6,00	96	—	
4,95	146	—	78	6,05			
5,00	143	—	76	6,10			
5,05	140	—	76				
5,10	137	—	75				
5,15	134	—	74				
5.20	131	—	72				
5,25	128	—	71				
5,30	126	—	69				
5,35	123	—	69				
5,40	121	—	67				
5,45	118	—	66				
5,50	116	—	65				
5,55	114	—	64				
5,60	111	—	62				
5,65	109	—	61				

BIBLIOGRAFIE

1. *G. Achimov*, Bazele de studiu despre coroziuni şi protecția metalelor, Metallurgizdat 1946.
2. *A. D. Assonov*, Tratamentul termic al pieselor automobilului. Maşgiz 1948.
3. *A. L. Baboşin*, Metalografia şi tratamentul termic al fierului, oțelului şi fontei, ONTI 1838.
4. *N. F. Bolchovitinov*, Metalografie şi tratamentul termic.
5. *A. A. Bocivar*, Studiul metalelor, Metallurgizdat 1946.
6. *S. M. Voronov*, Procedeuri de îmbunătățire a aliajelor de aluminiu-magneziu-siliciu şi compoziţii industriale noi, Oborongiz 1946.
7. *J. Geller, V. Babaev*, Oțelul de scule, Metallurgizdat, 1945.
8. *A. P. Guliaev, J. M. Lachtin, A. I. Tarusin*, Tratamentul termic al oțelului, Maşgiz 1946.
9. *A. P. Guliaev*, Oțelurile de scule şi tratamentul lor termic, Maşgiz 1943.
10. *N. N. Davidencov*, Incercările dinamice ale metalelor, Ediția a 2-a, ONTI, 1936.
11. *G. Sax*, Metalurgia practică, vol, I, II, III, ONTI 1937.
12. *G. A. Caşcenco*, Studiul metalelor, Metallurgizdat, 1949.
13. *I. E. Contorovici*, Proprietățile şi tratamentul oțelurilor pentru construcții de maşini, Metallurgizdat 1944.
14. *I. E. Contorovici*, Tratamentul termic al oțelului şi al fontei, Metalurgizdat, 1945.
15. *V. Crening, R. Ambarţumian*, Coroziunea metalelor în aviaţie, Oborongiz, 1941.
16. *I. V. Cudreavțev, M. M. Soverin, A. V. Riabcencov*, Metodele întăririi la suprafață a pieselor de maşini, Maşgiz, 1949.
17. *J. M. Lahtin*, Azotarea oțelului, Maşgiz, 1943.
18. *N. A. Minchevici*, Tratamentul termic al oțelului, Metallurgizdat, 1935.
19. *V. A. Nemilov*, Metalografie generală, ediţia acad. de ştiințe U.R.S.S. 1947.
20. *I. A. Oding*, Metodele actuale de încercări ale metalelor, ediția a 4-a, Metallurgizdat 1944.
21. *M. Slavinschi*, Babbitele cu un conținut redus de staniu şi fără staniu, ONTI 1935 şi 1937.
22. *V. Turchin şi M. Rumianțev*, Structura şi proprietățile metalelor neferoase, Metallurgizdat, 1948.
23. *G. B. Fridman*, Proprietățile mecanice ale metalelor, Oborongiz, 1946.
24. *N. A. Sapoşnicov*, Bazele încercărilor metalelor, ONTI 1936.
25. *Şimmel*, Metalografia aliajelor tehnice de cupru, Gosmetallurgizdat, 1945.
26. *S. S. Steinberg*, Bazele tratamentului termic ale oțelului, Metallurgizdat, 1945.
27. Călăuză enciclopedică „Maşinostroenie".
28. Imbunătăţirea calităților oțelurilor pentru construcție de maşini prin tratamentul la suprafață, lucrarea apărută sub red. membrilor corespondenți ai academiei de ştiințe U. R. S. S., I. A. Ading (TNIITMAŞ cartea 10) Maşgiz 1947.

TABLĂ DE MATERII

ERATA

Pag.	Rând	In loc de:	Se va citi:
17	22 jos	Structura inferioară	Structura interioară
19	11	Agitat prin evitarea	Evitat prin agitarea
21	15	322 °C	327 °C
30	12 jos	Fe_2C	Fe_3C
36	13 jos	Colocuţchi	Calacuţchi
43	19, 22, 28	Saibe	Probe
46	12	Amprente pe sulf	Amprente de sulf
71	10 jos	A. B. Smirnov şi H. V. Belornecov	A. V. Smirnov şi L. V. Belorucev
82	Tabela 8, r. 1	820	280
100	2 jos	produsă	propusă
101	nota la tab. 12	calitativ	de calitate
111	12	aliate	alitate
112	6	carbonatului	carbonului
120	3	cade	scade
120	14	duritatea	durata
127	11	fonduri dat fiind costul mai ridicat	alte materiale, cu costul mai ridicat
144	4	1050...2100°	1050...1100°
155	3	amestec de 50% nisip de cuarţ	amestec de 50% cărbune şi 50% nisip de cuarţ
181	1	modificărilor	modificatorilor
183	38	200 mm	20 mm
215	6	80% apă	60% apă
222	8 jos	C-Siliciu	S-Siliciu
222	8 jos	N-Molibden	M-Molibden